Bau und Betrieb Elektrischer Bahnen.

Von

M. Schiemann.

825

Dup. to
Be Kept

Bau und Betrieb
Elektrischer Bahnen.

Anleitung
zu deren
Projektierung, Bau und Betriebsführung

von
Max Schiemann,
Civil-Ingenieur für elektrische Bahnen.

Strassenbahnen.

Mit 364 Abbildungen, 2 photo-lithographischen Tafeln, 3 Tafeln Diagramme und mehreren Figurentafeln.

Zweite vermehrte Auflage.

LEIPZIG
VERLAG VON OSKAR LEINER
1898.

Vorwort zur ersten Auflage.

Die Veranlassung zur Bearbeitung eines Werkes über elektrische Bahnen war nicht allein das Fehlen eines solchen in der deutschen Litteratur, sondern vielmehr ein allgemein gefühltes Bedürfnis nach Belehrung über diesen interessanten Zweig der Technik. Die Quellen, aus denen der Gebildete die Fortschritte seines Arbeitsfeldes schöpft, sind in den verschiedensten Zeitschriften und Büchern zerstreut, und es ist heutzutage niemandem mehr möglich, sich durch die Fülle sämtlicher Aufsätze so hindurchzuarbeiten, dass ein klares Bild unverwischt bleibt. Nur der Spezialist eines eng begrenzten Zweiges der Technik vermag noch einen systematischen Auszug aus dem Wichtigsten und Wissenswertesten zusammenzutragen, und aus einer solchen kurz gefassten Sammlung kann der Neuling die Grundzüge erkennen, kann der Laie so viel Belehrung finden, um sich eine Vorstellung von den Vorgängen und notwendigsten Bedürfnissen des betreffenden Gebietes machen zu können, sie kann dem Fachmann neue Anregungen in seinem Arbeitsfelde bieten.

Diese Aufgabe für den Bau und Betrieb elektrischer Bahnen zu erfüllen, bezweckt das nachfolgende Werk. Hoffentlich gelingt es, durch Zusammenfassung und Veröffentlichung meiner langjährigen praktischen Erfahrungen unter Berücksichtigung der in Zeitschriften und Büchern zerstreuten Notizen in dieser Form einigen Nutzen zu stiften.

Die erste Entwickelungsperiode elektrischer Bahnen finden wir bei den Strassenbahnen. Es liegt in der Natur der elektrischen Betriebsart, gerade hier die praktische Bedürfnisfrage zuerst beantwortet zu sehen. Das Verlangen nach einem geeigneten Strassenbahnmotor lag seit langem vor, und die Folge davon war, dass die Konkurrenz der bahnbauenden Firmen einen starken Impuls zu vollendeterer Form gab. Heute sind die üblich gewordenen elektrischen Strassenbahnsysteme zu einem gewissen Abschluss gelangt.

Der vorliegende Teil des Werkes ist daher nur der Behandlung der Strassenbahnen gewidmet.

Während das praktisch Bewährte in erster Reihe hier Aufnahme gefunden hat, sind auch die »frommer Wunsch« gebliebenen Ideen gestreift worden, denn die Technik hat schon oft gelehrt, dass verfallene Ideen, von anderen wieder erkannt und aufgegriffen, reiche Früchte getragen haben.

Denjenigen, welche mich bei der Herausgabe meiner Arbeit thatkräftig unterstützt haben, sage ich an dieser Stelle verbindlichen Dank.

Einer Aufgabe zu dienen, versagt der Verfasser dem Werke von vornherein, und das ist, ein strikter Führer durch alle Modalitäten einer zu erbauenden, zu betreibenden oder zu verändernden Bahnanlage zu sein. Dieses Ziel kann natürlich kein Buch erreichen, weil hier nur der lebendige Gedanke des Ingenieurs helfend eingreifen kann. Nur dieses Bildners geistige Thätigkeit ist imstande, für jeden Ort, für jede Zeit, für jedes Bedürfnis die passendste Bauart zu empfinden, die beste Möglichkeit zu ergründen.

Berlin, Oktober 1895.

Der Verfasser.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Die gute Aufnahme, welcher sich das Erscheinen meines Werkes zu erfreuen hatte, möge auch diese, nach kaum zwei Jahren nötig gewordene neue, zeitgemäss erweiterte Auflage begleiten.

Im Kreise meiner Fachgenossen bin ich sehr oft gefragt worden, ob es jetzt schon richtig ist, mit den noch nicht überall geklärten Ansichten über elektrische Bahnen in gesammelter Form hervorzutreten? — Ich will durch diese meine Arbeit nur verhindern, dass jeder junge Ingenieur die gleichen technischen Kinderkrankheiten auf diesem Spezialgebiete durchmachen muss, ehe er zu fruchtbringender, das Gebiet fördernder Thätigkeit gelangen kann.

Die innerhalb der letzten Jahre zu verzeichnenden Fortschritte und Erfahrungen habe ich mit peinlichster Sorgfalt gesammelt, für die vorliegende Auflage gesichtet und mit kritischen Augen behandelt. Meine als Gutachter für elektrische Bahnanlagen oftmals in Anspruch genommene Thätigkeit ermöglicht es mir, von vielen Verhältnissen und Bedürfnissen persönlich Kenntnis zu erhalten. Trotzdem aber ist es mir bei der überaus schnellen Entwickelung der elektrischen Bahnen unmöglich, alles bringen zu können. Ich bitte deshalb alle Fachgenossen, welche ein Interesse daran haben, dass der deutsche Techniker mitteilsamer wird, als er es ist, mich auf Unvollkommenheiten des Buches unmittelbar aufmerksam zu machen.

Wegen etwaiger Mängel und Lücken sei mir gestattet, an Goethe's Ausspruch zu erinnern: »So eine Arbeit wird eigentlich nicht fertig, man muss sie für fertig erklären, wenn man nach Zeit und Umständen das Möglichste daran gethan hat«. Und letzteres ist meinerseits geschehen.

Dresden, 13. September 1897.

Max Schiemann,
Civil-Ingenieur für elektrische Bahnen.

Inhalt.

IV. Stromverbrauch.

V. Betriebsführung.

VI. Verschiedenes.

Berichtigungen.

Seite 246, Zeile 12 von oben, statt Änderungen soll es heissen: Änderung.
Seite 246, Zeile 13 von oben, statt verbundenen soll es heissen: verbundene.

I.

Einleitung.

1. Allgemeines.

Nach unseren heutigen Begriffen erscheint es uns als selbstverständlich, dass der elektrische Strom, in eine stillstehende Dynamomaschine geleitet, diese in Bewegung setzen muss. Ehe man aber diese Thatsache kannte, war dies nicht so selbstverständlich, und wenn auch nicht zu leugnen ist, dass der Elektromotor auf theoretischem Wege später doch entdeckt worden wäre, so ist doch anzunehmen, dass noch Jahre darüber hingegangen wären, ehe man das Bedürfnis empfunden hätte, diese Möglichkeit zu klären. Die hochbedeutsame Entdeckung, dass man mittels des elektrischen Stromes mechanische Kräfte praktisch fortleiten kann, soll eine rein zufällige gewesen sein. In den Werkstätten der Gramme-Gesellschaft in Paris hatte man zwei Dynamomaschinen zu Beleuchtungszwecken aufgestellt, von denen die eine in Thätigkeit war, während die andere still stand. Ein Arbeiter legte zwei am Boden liegende Leitungsdrähte, von denen er annahm, dass sie zu der stillstehenden Maschine gehörten, an die Klemmschrauben derselben. Zum grössten Erstaunen begann die Maschine sich von selbst in Bewegung zu setzen; man fand heraus, dass sie von dem Strom der anderen Dynamo getrieben wurde. Während also in der ersten Maschine die Kraft der Dampfmaschine in elektrischen Strom umgewandelt wurde und dieser durch die Leitung zu der anderen Dynamo floss, verwandelte diese den elektrischen Strom wieder in mechanische Arbeit.[1]) 1873 auf der Wiener Weltausstellung wurde diese wichtige Thatsache durch Hippolyte Fontaine weiteren Kreisen bekannt gemacht, indem derselbe eine kleine elektrische Maschine mit dem Strom einer Dynamomaschine betrieb, wobei die Leitungen zwischen beiden Maschinen über 2 *km* Länge hatten. Ein französischer Elektrotechniker, Marcel Deprez, hat auf diesem Felde unermüdlich ge-

[1]) Andere Lesarten über die zufällige Erfindung des Elektromotors giebt Gisbert Kapp in seinem Buche »Elektrische Kraftübertragung«, 1891, S. 271 an.

arbeitet. Er hat z. B. 1882 auf der Münchener Ausstellung Versuche vorgeführt, welche bewiesen, dass die Sache ging und möglich war, aber die technischen Schwierigkeiten waren noch sehr gross. 4 PS wurden von München nach Kufstein, 55 *km* weit, geleitet; die Spannung betrug 1500 Volt, also 15 mal so viel, als wir in unseren gewöhnlichen Glühlampen zu haben pflegen. Seine Leitung war ein Eisendraht von 4 *mm* Stärke; also der gewöhnliche Telegraphendraht war imstande, auf solche Entfernungen als Leiter benutzt zu werden.

Wir wollen uns an dieser Stelle nicht mit der Verwertung des Elektromotors im allgemeinen befassen, sondern können hier nur auf die Verwendung dieser Maschine für den Betrieb elektrischer Bahnen eingehen.

So eng dieses Feld für den Elektromotor beim ersten Blick begrenzt scheint, so vielseitig ist das Vorkommen, so abwechslungsreich die Beanspruchung, so mannigfaltig die Konstruktion des Elektromotors.

Man hatte kaum den Elektromotor entdeckt, als man sofort seine rühmlichen Eigenschaften für den Bahnbetrieb erkannte. Freilich fehlte es nicht an Enttäuschungen, weil die Konstruktions-Einzelheiten nicht erprobt und die Beanspruchungen noch unbekannt waren.

Es liegt nun die Frage nahe, aus welchen Gründen dieser Motor für Fortbewegung von Fahrzeugen in der kurzen Zeit von etwa fünfzehn Jahren zu solch hoher Blüte gelangen konnte; zumal seine anfängliche innere Konstruktion recht viel zu wünschen übrig liess.

Wenn man von den in allerneuester Zeit aufgetauchten de Lavalschen Dampfturbinen absieht, so schlugen alle Versuche, die Dampfmaschinen als rotierende Maschinen zu bauen, fehl an der mangelhaften Ökonomie gegenüber den hin- und hergehenden Maschinen. Man musste also wohl oder übel die hin- und hergehende Bewegung des Dampfkolbens in den Kauf nehmen und durch geeignete Maschinenelemente die rotierende Bewegung hervorbringen.

Mit solchen Hilfsmitteln war es auch nur möglich die Dampflokomotive und die Dampfwagen mit allen ihren mechanischen Unarten zu konstruieren. Gleis, Zugmechanismen, Wagen u. s. w. wurden der Lokomotive bezw. dem Dampfwagen angepasst, so dass wir heute ein geordnetes Ganzes vor uns haben.

Bei dem Massenverkehr in den Strassen amerikanischer Städte war man sehr bald von dem Pferdebetrieb für Strassenbahnen abgekommen. Einen guten und leicht teilbaren Motorenbetrieb kannte man noch nicht. Es lag daher sehr nahe, die einzelnen Wagen, ähnlich wie bei Seilbahnen durch ein Drahtseil (Kabel) fortzuziehen.

Die Konstruktion der Kabelbahnen ist charakterisiert durch einen Kanal in der Mitte des Gleises, welcher einen fortlaufenden Schlitz nach oben besitzt. In diesem Kanal wird das Zugseil, auf Rollen gestützt, geführt. Die Wagen besitzen sehr kompliziert konstruierte Greifer, mit denen sich die Wagen an das bewegte Seil festklammern und mitgenommen werden.

Die Andwendbarkeit dieser Kabelbahnen ist nur dann zu empfehlen, wenn:

1. Die Strecken einen ungeheuer intensiven Verkehr (natürlich auf zweigleisiger Strecke) besitzen,
2. eine Strecke sehr grosse Steigungen zu überwinden hat, da der Seilbetrieb unabhängig von der Adhäsion ist,
3. die Strecke möglichst ohne Kurven gebaut werden kann,
4. die Kanalisierungsverhältnisse der Strasse günstige sind, um den Seilkanal leicht entwässern zu können,
5. die Bahnlänge nicht zu gross und das Netz nicht zu verzweigt ist.

Die Nachteile der Kabelbahnen sind:

1. Die grosse Vergänglichkeit des Kabels,
2. die grossen Reibungsverluste desselben,
3. die Abhängigkeit aller Wagen von der guten Beschaffenheit des dem grossen Verschleiss ausgesetzten Kabels,
4. dass das Kabel bei Vollbetrieb und bei Leerlauf gleichen Widerstand hat.

Der beste Beweis dafür, dass die amerikanischen Kabelbahnen sich überlebt haben, liegt darin, dass die meisten Kabelbahnen in elektrisch betriebene Bahnen, teils mit oberirdischer, teils mit unterirdischer Stromzuführung, umgewandelt worden sind.

Wenn es sich bei elektrischen Bahnen darum handelt, die Kraftstation dadurch am besten auszunutzen, dass der Verkekr ein möglichst intensiver ist, so ist dies bei Kabelbahnen in erhöhtem Masse der Fall, denn ausser der Kraftstation ist hier das Kabel, welches den grössten Teil der Betriebskosten für sich in Anspruch nimmt, gleichgiltig, ob es leer läuft oder stark belastet ist, für die gute Ausnützung der Anlage massgebend. Die Reparaturkosten des Kabels sind fast unabhängig von der Ausnutzung des Kabels.

Um ein weitverzweigtes Netz durch Kabelbahnen zu betreiben, ist es erforderlich, sehr viele Kraftstationen zu errichten, während bei elektrischem Betriebe die Arbeitsverteilung sich wesentlich einfacher gestaltet.

Im Gegensatz zu den amerikanischen Kabelbahnen haben sich in Deutschland Gasbahnen Eingang zu schaffen versucht. Auf Linien mit dichtem Verkehr kann der Gaswagen jedoch weder mit dem

elektrischen Betriebe, noch mit dem Kabelbetriebe konkurrieren. Hiergegen hat der Gaswagen auf langen Linien mit spärlichem Verkehr seine volle Berechtigung, da elektrisch betrieben eine solche Bahn die Anlagenkosten der Kraftstation und der Leitungsanlagen nicht genügend ausnutzt. Der Gaswagen enthält als Betriebsmechanismus die Gasbehälter, Gasleitungen, Reduzierventil, eine Zweicylinder-Gasmaschine mit elektrischer Zündung, mehrere Zahnradübersetzungen, zwei Reibungskuppelungen, eine doppelte Klauenkuppelung und schliesslich noch Kettengetriebe. Bedenkt man, dass dieser komplizierte Mechanismus in dem beschränkten Raume unter den Sitzen und unterhalb des Wagens untergebracht werden muss, so ist wohl klar, dass in Bezug auf Einfachheit der Gaswagen sehr weit hinter dem elektrischen Motorwagen mit seinen vollkommen eingekapselten zwei Motoren und einfachen Rädervorgelegen zurücksteht. Die hohen Unterhaltungskosten der beim Gaswagen notwendigen vielen bewegten Teile und die periodischen Reinigungskosten des Motors selbst finden erst bei einer schlecht ausgenutzten, d. h. also spärlich betriebenen elektrischen Bahnlage mit direkter Stromzuführung den Ausgleich, sodass man den Gasmotorwagen mit vollem Recht einen Pionier für elektrische Bahnen genannt hat, der den Verkehr solange vermitteln soll, bis durch die Zunahme desselben die Einführung des leistungsfähigeren und einfacheren elektrischen Betriebes finanziell durchführbar geworden ist.

Der Gasmotor, der gegenüber der kleinen Dampfmaschine den unbestreitbaren Vorteil des billigeren Betriebes besitzt, hat mit dieser zusammen jedoch dem Elektromotor gegenüber für die Fortbewegung von Fahrzeugen den Nachteil, dass momentane Mehrleistungen, wie solche bei Fahrzeugen unvermeidlich sind, von den Hub- und Cylindermotoren bei den zur Verfügung stehenden spezifischen Pressungen nicht überwunden werden können. Man muss vielmehr die Cylinder und Kolben für die Maximalleistung dimensionieren und erhält dadurch ungünsige Ausnutzung bei normalem Durchschnittsbetriebe. Hierzu kommt, dass von einer Selbstregulierung dieser Motoren abgesehen werden muss, und dass eine sorgsame Reinigung der inneren Reibungsflächen beim Gasmotor von ganz besonderem Werte ist, da z. B. ein Gasmotor nach einwöchentlichem Dauerbetriebe schon einen 20—25 % höheren Gasverbrauch aufweist, als gleich nach der Reinigung. Der Elektromotor ist frei von diesen Unannehmlichkeiten.

Was von dem Gasmotorbetriebe gilt, bleibt im gleichen Masse für die anderen Explosionsmotoren, wie Petroleum-, Benzin- und Wärmemotoren, bestehen und gilt annähernd auch für Druckluftbahnen, von deren Einführung man alljährlich aber spärlich Kunde erhält.

Der Druckluftbetrieb hat sicherlich manche angenehme Eigenschaft und könnte mit dem ihm ähnlichen Dampfwagenbetrieb für Strassenbahnen sehr wohl wetteifern, wenn dieser seiner sehr hohen Betriebskosten wegen nicht auf dem Aussterbeetat stünde.

Um einer Neuerung, wie dies die elektrischen Bahnen sind, Eingang zu verschaffen, war zunächst die Bedürfnisfrage aufzustellen, und diese war zunächst für Hauptbahnen noch nicht zu Gunsten der elektrischen Zugkraft zu beantworten, so lange es sich um die Fortbewegung grosser Massen in grösseren Zeitabschnitten handelt. Diese können durch die Dampflokomotive entschieden billiger befördert werden. Erst sobald die heute üblichen Geschwindigkeitsgrenzen überschritten werden müssen, und die Reisegewohnheiten mit den kulturellen Fortschritten andere geworden sein werden, wird die Bedürfnisfrage für Hauptbahnen zur Elektrizität neigen müssen.

Dagegen sind es die Strassen- und Vorortebahnen, welche für den elektrischen Betrieb eine entwickelungsreiche Vergangenheit aufweisen, und zwar aus Gründen, welche durch das heutige Verkehrswesen innerhalb und ausserhalb der grossen Städte bedingt wurden.

Die Schaffung schneller und billiger Verkehrsmittel für den Lokalverkehr ist in unserer Zeit zu einem dringenden Bedürfnis geworden. Die rasche Zunahme der Bevölkerung, zusammen mit dem Bestreben, gesunde, mit Licht und Luft hinreichend versehene Wohnungen zu schaffen, hat eine ungeahnte räumliche Ausdehnung aller grösseren Städte herbeigeführt, sodass benachbart gelegene Vororte zu Stadtteilen wurden und die Wohnungen der Städter sich noch über diese Zone hinaus bis zu den weiter gelegenen Orten vorschoben, für welche eine Verbindung mit dem Verkehrscentrum nunmehr notwendig wurde.

In gleicher Weise äussert die zunehmende Konzentration der Industrie in den Grossbetrieben ihre Wirkung. Für die Hunderte und Tausende von Menschen, welche täglich in weit von ihren Wohnungen entfernten Fabriketablissements zusammenkommen müssen, ist eine schnelle und billige Fahrgelegenheit absolut notwendig.

Die Dampfbahnen sind ihrer ganzen Natur nach für den noch heute üblichen Fernverkehr geeignet. Der Betrieb kann bei ihnen mit kleinen Zügen und kurzen Verkehrsintervallen niemals billig eingerichtet werden, also nicht in derjenigen Form, welche gerade im Lokalverkehr verlangt wird. Ausserdem ist es trotz angestrengtester Bemühungen nicht gelungen, einen Dampfwagen zu konstruieren, der in den belebten Strassen einer Stadt ohne Unzuträglichkeiten verkehren kann.

Auch die Pferdebahnen entsprechen nur in wenigen Fällen den durch den Verkehr an sie gestellten Anforderungen. Mit Pferde-

betrieb können zwar einzelne Wagen in verhältnismässig kurzen Intervallen verkehren, aber die Geschwindigkeit der Pferdebahnen genügt selbst auf kürzeren Stadtstrecken dem Bedürfnis des Publikums nicht und noch weit weniger auf Vorstadt- oder Landstrassen. Ein grosser Mangel des Pferdebetriebes liegt ferner darin, dass man einen zeitweilig auftretenden sehr starken Verkehr nicht bewältigen kann, weil der Unterhalt der hierfür erforderlichen Reservepferde mit unverhältnismässig hohen Kosten verbunden ist.

In dem elektrischen Betriebe finden sich die Vorzüge beider Beförderungsarten, aber ohne deren Nachteile, vereinigt. Mit den Dampfbahnen hat dieser Betrieb gemeinsam, dass man auf Aussenstrecken so schnell fahren kann als die gesetzlichen Bestimmungen es zulassen und im Bedarfsfall die Leistungsfähigkeit der Bahn durch Einstellung einer grösseren Anzahl von Wagen ungemein zu erhöhen vermag, mit den Pferdebahnen die Möglichkeit, in kurzen Zwischenräumen mit einzelnen Wagen und ohne Belästigung der anderen Fuhrwerke und der Passanten zu verkehren.

Es ist daher nicht zu verwundern, dass in der verhältnismässig kurzen Zeit, welche seit der Einführung der elektrischen Bahnen verflossen ist, dieselben sich ausserordentlich schnell vermehrt haben.

Alle bisher ausgeführten elektrischen Bahnen zeigen deutlich die Richtung, in der das Bedürfnis für elektrischen Betrieb vorlag, und es lässt sich dies kurz in den Worten zusammenfassen:

Bahnen für Personenbeförderung mit kurzen Verkehrsintervallen.

2. Die ersten elektrischen Bahnen und Bahnsysteme.

Die erste Probe einer elektrisch betriebenen Bahn war die auf der Berliner Gewerbe- und Industrie-Ausstellung im Jahre 1879 zur Schau gestellte und durch Fig. 1 dargestellte kleine Personenbahn, welche durch den Nestor der elektrischen Bahnen, Werner v. Siemens, beziehungsweise durch dessen Firma Siemens & Halske, ausgeführt und betrieben wurde.

Diese Bahn erhielt den Strom durch die Fahrschienen und durch eine besondere dritte Zuleitungsschiene zugeführt. Dieselbe Stromzuführungseinrichtung erhielt die 1883 von Siemens & Cie. Limited London ausgeführte Portrushbahn in Irland. Im Jahre 1881 wurde die meterspurige Bahn in Lichterfelde vom Anhalter Bahnhof bis zur Kadettenanstalt auf den Gleisen der für den Bau der Kadettenanstalt als Ziegelbahn benutzten Strecke mit direkter Fahrschienenleitung angelegt und dem regelmässigen Personenverkehr übergeben. Seit jener Zeit hat diese Bahn die mannigfachsten Variationen durchgemacht und zeigt sowohl im Stromzuführungssystem als auch in



Schiemann, Bahnen. 2. Aufl. Fig. 1. Verlag von Oskar Leiner in Leipzig.

Erste elektrische Bahn auf der Berliner Gewerbe - Ausstellung 1879.
Ausgeführt von Siemens & Halske.

der Motorkonstruktion die Wandlungen der Zeit. Die Bahn und die ersten Wagen dieser Bahn befinden sich noch heute im Betriebe und ist die Bahn zur Zeit bedeutend erweitert worden. Seit 1890 ist diese Anlage mit oberirdischer Stromzuführung versehen worden.

Im Jahre 1883 wurde gelegentlich der internationalen elektrischen Ausstellung in Wien die Praterbahn ebenfalls mit reiner Fahrschienenzuleitung ausgeführt.

Es schlossen sich dieser Ausführung in den folgenden Jahren noch einige Bahnen in Frankfurt a. M. — Offenbach, Wien — Mödling und Spandauer Berg-Bahn an und blieben, ausser einigen Ausstellungsbahnen in Breslau, Görlitz, die einzigen Ausführungen auf dem europäischen Kontinent.

Fast schien es, als ob das System, Bahnen mittels Elektrizität zu betreiben, wieder verschwinden wollte, als sich der amerikanische Scharfsinn der Sache bemächtigte und in vereinfachter Form den praktischen Wert der elektrischen Betriebsweise erkannte.

Amerika gab den erneuten Anstoss zur Weiterbildung und seit dem Ende der achtziger Jahre können wir von einer steten Fortentwickelung elektrischer Bahnen aller Gattungen und insbesondere elektrisch betriebener Strassenbahnen sprechen.

Die Einteilung elektrischer Strassenbahnen ist nach Art ihrer Stromzuführung üblich geworden, da hierin die charakteristischen Unterschiede und Merkmale zu erblicken sind.

Elektrische Strassenbahnen werden zur Zeit nach drei Arten ausgeführt, nämlich als

1. Akkumulatorenbahnen,
   a) reiner Akkumulatorenbetrieb,
   b) gemischter Akkumulatorenbetrieb.
2. Bahnen mit unterirdischer Stromzuführung,
   a) mit Schlitzkanal,
   b) mit geschlossenem Kanal.
3. Bahnen mit oberirdischer Stromzuführung,
   a) mit Fahrschienenpol,
   b) ohne Fahrschienenpol.

Die verschiedenen Bauarten, welche durch Ort und Gelegenheit gezeitigt wurden, haben zunächst alle den Gleichstrom gemeinsam. Bahnen mit direktem Wechselstrom betrieben giebt es noch nicht, jedoch ist die Zeit nicht mehr fern, dass auch diese Stromart mit dem Gleichstrom erfolgreich konkurrieren kann. Dagegen ist schon heute der Mehrphasenstrom vereinzelt zur Anwendung gelangt. (Siehe auch späteres Kapitel.)

II.

Die Erzeugung des elektrischen Stromes.

Dieselbe kann auf der Ausnutzung von Kohle, Gas, Wasser oder Wind basieren.

Die Kohle als das am häufigsten angewandte Krafterzeugungsmittel der im Weltall schlummernden Naturkräfte erfährt zunächst im Dampfkessel seine Energieumwandlung in Wärme. Die Wärme verwandelt in bekannter Weise das Wasser in Dampf. Der zumeist hochgespannte Dampf (von 8 — 10 Atmosphären) wird durch die weiter unten näher beschriebenen Dampfmaschinen und Dynamomaschinen nutzbar gemacht.

3. Die Dampfkessel und Feuerungen.

Die Dampfkessel finden zumeist und am besten Anwendung als Röhrendampfkessel, einmal, weil dieselben die billigsten sind und am wenigsten Platz einnehmen, und zum anderen Male, weil der Dampfbedarf bei kleineren Anlagen elektrischer Bahnen ein sehr wechselnder ist. Röhrenkessel mit grosser Heizfläche und geringem Wasserraum können einem plötzlichen Dampfmehrverbrauch am besten entsprechen. Die Wartung der Schnellfeuerung muss freilich eine um so sorgfältigere sein, da öfter nachgelegt und kontrolliert werden muss, als bei Grosswasserraumkessel.

Zudem ist die gute Eigenschaft der Wasserröhrenkessel, schnell Dampf zu geben, auch von grossem Vorteil für die Ausnutzung des Kesselheizerpersonals, da kaum eine Stunde vor Inbetriebsetzung der Dampfmaschinen das Anfeuern zu geschehen braucht, während dies bei Grosswasserraumkesseln nicht in solch kurzer Zeit möglich ist, mithin das Personal vermehrt oder mehr angestrengt werden muss.

Bei grossen Anlagen und besonders solchen, welche einen mindestens 20 stündigen Betrieb am Tage zu versorgen haben, findet der Grosswasserraumkessel für hohen Druck genügende Ausnutzung und zweckentsprechende Anwendung. Er hat in diesem besonderen

Falle sogar den grossen Vorzug, allen Betriebsschwankungen durch seinen grossen Dampf- und Wasserraum leicht folgen zu können, ohne darum die Feuerung forcieren zu müssen.

Bei Bestimmung der Kesselart ist die Grösse der Anlage massgebend, und kann a priori nicht behauptet werden, nur die eine oder andere Kesselart sei anzuwenden oder immer zu bevorzugen. Die Vorliebe für Wasserrohrkessel ist vornehmlich dem Umstande zuzuschreiben, dass die meisten elektrischen Bahnanlagen von verhältnismässig kleinem Umfang sind, bei denen die billigeren Wasserrohrkessel die geeignetsten sind.

Die Kessel müssen bei normaler Beanspruchung für die günstigste Ausnutzung der Kohlen berücksichtigt werden; ein 50% stärkerer Dampfverbrauch muss von den Kesseln hergegeben werden, ohne dass deren Konstruktion auf die Dauer beeinträchtigt wird. Ist dies mit einer gegebenen Kesselsorte nicht zu erreichen, so stellt man einen Kessel mehr auf oder, was noch besser ist, man hält die gewöhnliche spezifische Dampferzeugungsbeanspruchung unter der normalen Höhe. Im Falle eines zeitweisen Dampfmehrverbrauches ist es immer richtiger, einen unter Feuer stehenden Kessel zu forcieren (spezifisch höher zu beanspruchen), als einen kalten Kessel anzufeuern und nach Gebrauch wieder abzustellen, da die durch die Temperaturschwankungen hervorgerufenen Wärmebewegungen schädlicher einwirken als überanstrengter Betrieb.

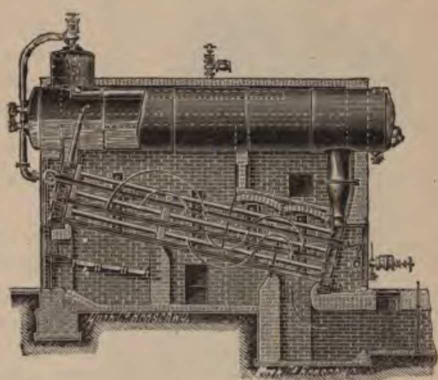


Fig. 2.

Um je eine der neueren Dampfkesseltypen herauszugreifen, sei hier in Fig. 2 der Gehre'sche Röhrenkessel und in Fig. 3 ein Pauksch'scher Flammrohrkessel aufgeführt.

Der Gehre'sche Röhrenkessel besitzt für jede Rohrreihe gesonderte Dampfabführungsrohre in die jedesmal darüber befindlichen Dampfräume, sodass auf eine Wassercirkulation verzichtet werden kann und trotzdem der erzeugte Dampf schnell abgeführt wird. Die wasserberührte Heizfläche wird gegenüber der dampfberührten denkbar gross und ermöglicht dadurch eine hohe Leistungsfähigkeit des Kessels.

Der Pauksch'sche Grosswasserraumkessel in Fig. 3 giebt ein anschauliches Bild über die für hohen Kesseldruck nötigen Kon-

struktionen. Das aus eigenartig geformten Schüssen hergestellte Feuerrohr hat sich seit vielen Jahren gut bewährt. Die wasserberührte Heizfläche ist die denkbar grösste, die Ausnutzung der Feuergase eine gute. Das Raumerfordernis dieses Kessels ist jedoch so gross, dass die betreffende Firma zu Kombinationen mit Siederohroberkessel gegriffen hat, um annähernd mit Wasserrohrkesseln in Wettbewerb treten zu können, wenn nur beschränkter Raum zur Verfügung steht.

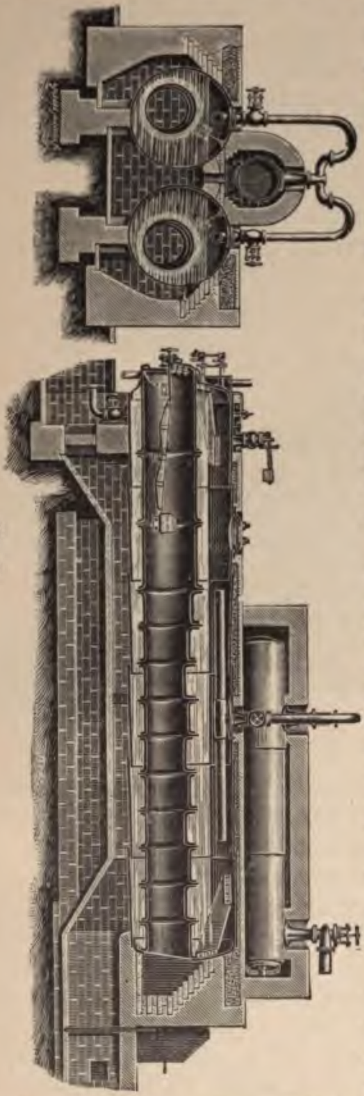


Fig. 3.

Das Bedürfnis der vollkommenen Rauchverbrennung ist natürlich, wie bei allen neueren Dampfkesselanlagen, auch hier und um so mehr vorhanden, als die Kraftstation wohl meistens in bewohnten Gegenden angelegt werden muss, um im Schwerpunkt des Bahnverkehrs ihre günstigste Ausnutzung zu finden.

Die günstigste Ausnutzung der Kesselanlage wird naturgemäs dann erfolgen können, wenn der Betrieb kontinuierlich vor sich geht. Bei entsprechend grossgewählter Anlage, d. h. wenn die spezifische Beanspruchung für das Quadratmeter Heizfläche die Normalleistung im Durchschnitt nicht übersteigt, empfiehlt es sich, die Zuführung des Brennmaterials automatisch zu bewirken. Die charakteristische Darstellung einer Kohlenförderung im Kesselhause ist in Fig. 4 dargestellt.

Hier fällt die Kohle aus dem Transportwagen in einen grossen Trichter, der sich allmählich in die an seiner unteren Öffnung vorbeigeführten Behälter des Paternosterwerkes entleert. Der Reihe nach wird alsdann der Inhalt der Kohlenkästchen in die Kohlentrichter des Kessels ausgekippt, was durch entsprechenden Anschlag erfolgt. Auf die gleiche Art werden

die Aschenfälle entleert und bis zum Transport auf der Kohlen- bezw. Aschenbahn gebracht

Die Folge automatischer Kohlenzuführung ist auch die automatische Beschickung des Rostes mit Brennmaterial. Hierfür sind die verschiedensten Konstruktionen in Anwendung gebracht worden, welche prinzipiell darin übereinstimmen, beständig eine gewisse Menge Kohlen aus dem Feuerthürtrichter zu entnehmen und sie dem Feuer zuzuführen. Derjenigen Vorrichtung gebührt wie immer der Vorzug, welche die einfachsten Bewegungsmechanismen enthält. Die einfache, durch ein Gegengewicht ausbalancierte senkrechte Fallthür hat sich überall besser bewährt, als hin- und hergehende Kolben oder rotierende Kammräder

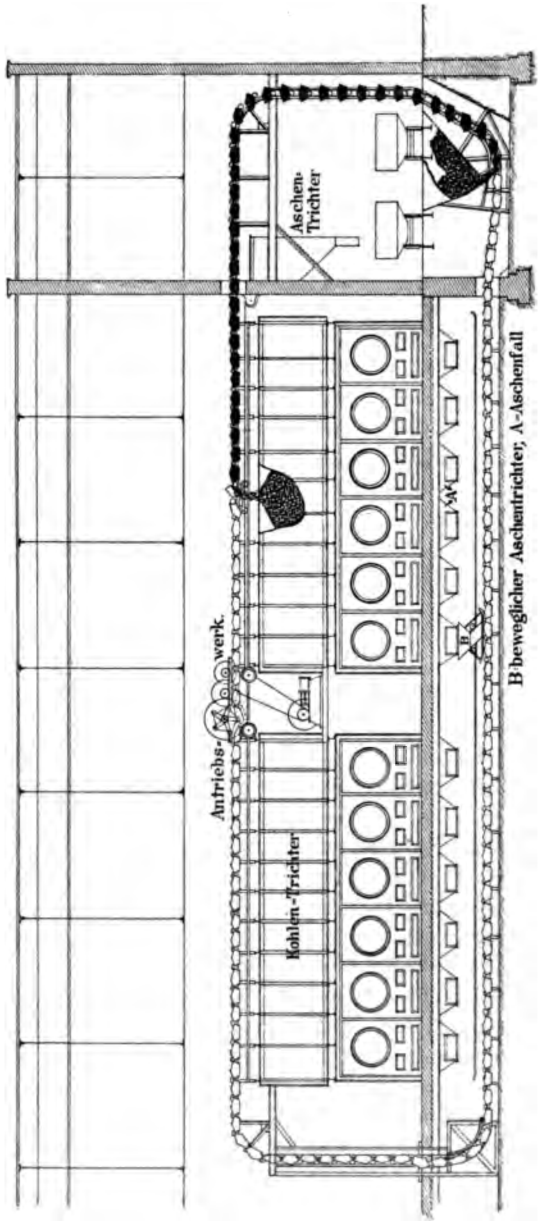


Fig. 4.

Ansichten ausgeführter Kesselanlagen sind in den von den grossen Elektrizitätsfirmen im Selbstverlag herausgegebenen Broschüren ersichtlich, so dass sich deren Wiedergabe hier erübrigt.

4. Die Dampfmaschinen, Kondensations- und Kühlanlagen.

Die Dampfmaschinen sind zumeist einfache Verbundmaschinen. Dreicylindrige Maschinen, deren jeder folgende Cylinder niedrigere Dampfspannung erhält, haben sich nicht bewährt, weil ihre Regulierungsvorrichtungen den oft von Null bis zum Maximum steigenden Beanspruchungen plötzlich zu folgen ausser stande sind. Es ist eine der Hauptbedingungen für diese Dampfmaschinen, dass sie bei Änderung der Maschinenbelastung einfach und schnell ohne langandauernde Schwankungen auf gleiche Tourenzahl regulieren, ohne dabei zu springen, was durch schnelllaufende Regulatoren, leicht beeinflusste Steuerungen und wirksame Schwungräder erreicht werden kann. Der Gleichförmigkeitsgrad in der Winkelgeschwindigkeit zwischen Vollbelastung der Maschine und Leerlauf soll niemals 5 % übersteigen und muss bei Riemenantrieb mit schneller laufenden Stromerzeugern bis zu 2 % herabsinken. Es ist vielfach die Ansicht verbreitet, dass die Dampfmaschinen für Bahnbetrieb einer weniger feinen Regulierung bedürfen, als diejenigen für elektrischen Lichtbetrieb. Wenn man obige Forderungen betreffs der Gleichförmigkeit anerkennt, und diese Forderung entspricht dem praktischen Bedürfnis, so dürfte damit wohl zur Genüge die Gleichberechtigung der Regulierbarkeit hervorgehoben sein.

Von der Umdrehungszahl ist abhängig die Spannung des Stromerzeugers, von der Spannung dieser die Geschwindigkeit der getriebenen Wagen. Wenn z. B. bei der Maximalbeanspruchung, d. h. wenn sämtliche Wagen auf der Strecke anfahren, die Tourenzahl der Dampfmaschine und mit dieser die Spannung in der Dynamomaschine und in der Stromleitung erheblich sinken würde, kämen die gröbsten Unregelmässigkeiten im Betriebe vor.

Zur Beurteilung der Grösse und des günstigsten Ausnutzungsfaktors von Maschinenaggregaten ist es üblich geworden, den Verkehr der Bahnen in den verschiedenen Perioden zu beachten. Es unterscheiden sich hierbei gewöhnliche Wochentage, Sonntage, Sommerfesttage, Volksfeste, Ausstellungen u. s. w. Kennt man zu diesen verschiedenen Zeiten die Verkehrsintervallen bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit der Wagen, kennt man andererseits das Gewicht der Wagen und deren Fassungsraum an Personen, welcher für durchschnittliche Berechnungen an gewöhnlichen Tagen mit $^1/_3$ Besetzung, an verkehrsreichen Sonntagen dagegen mit $^1/_2$ einzusetzen ist, so kommt man auf ein durchschnittliches Gewicht besetzter und bewegter Wagen. Rechnet man für eine Tonne bewegten Wagengewichtes eine Durchschnittsgrösse von z. B. 0,5 Kilowatt, so findet man unter Zuschlag der Arbeitsverluste in den Zuleitungen, welche

man im Mittel mit 5% annehmen kann, die Kilowattleistung an den Dynamomaschinen der Station. Die Gesamtleistung für die verschiedenen Tage und Jahresperioden muss ein Bild ergeben, in welchem die Abstufungen für die Gesamtarbeit ersichtlich sind. Ein fingiertes Beispiel soll das Gesagte erläutern.

Es werden bei einer Bahn gebraucht:

an Wochentagen . . . . 400 Kilowatt
» Sonntagen . . . . 650 »
» Sommerfesttagen, Volksfesttagen u. s. w. . 800 »
Maximaler Arbeitsverbrauch während weniger
Tagesstunden . . . . 900 »

Trägt man sich diese Leistungen graphisch auf, wie es die Fig. 5 zeigt, so ersieht man, dass es rationell ist, entweder sechs Betriebsmaschinen von je 150 Kilowatt oder vier Betriebsmaschinen von je 220 Kilowatt Leistung oder zwei Betriebsmaschinen von je 450 Kilowatt Leistung aufzustellen, so dass man in der Lage ist, mit der wirtschaftlichsten Maschinenausnutzung den grossen Betriebsschwankungen zu folgen, d. h. dass man die stationären Maschinen stets bei normaler Leistung mit günstigstem Dampffüllungsgrad arbeiten lassen kann. Dass dies jedoch nicht ganz so erfolgen kann, wie man es gern möchte, liegt klar auf der Hand; es berechtigt dies aber nicht dazu, solche Betrachtung ausser acht zu lassen. Hierzu kommt, dass man stets ein Maschinenaggregat in Reserve halten muss, weil es in derartigen Betrieben unvermeidlich ist, dass Beschädigungen von Maschinen vorkommen, auch wenn der regelmässige Verkehr keine unerwarteten Überanstrengungen mit sich

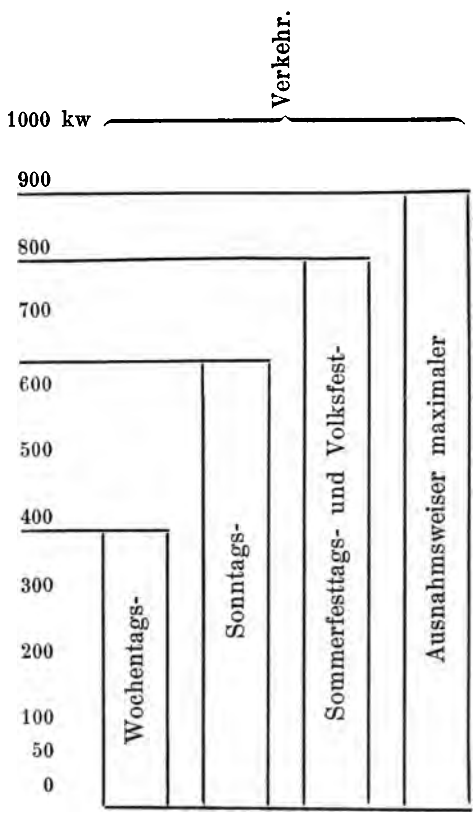


Fig. 5.

bringt. Es werden Erneuerungsarbeiten, Veränderungen an Maschinen u. dergl. nötig, und da man sich die Wichtigkeit eines Bahnbetriebes immer vor Augen halten muss, ist eine Anlage ohne Reservemaschine eine fehlerhafte. Für den gewöhnlichen Verkehr soll eine derartige Reserve nicht in Anspruch genommen werden. Daru mist es nötig, dass man für die Grösse der Maschinen ganz bestimmte Voraussetzungen macht, die es ermöglichen, von der normalen Leistung zur maximalen überzugehen, ohne dass Betriebsstörungen an diesen Betriebsmaschinen zu befürchten sein dürfen. Jeder Maschine und jedem Kessel muss auf längere Zeit (bis zu zwei Stunden) eine um 50% höhere Leistung zugemutet werden können, ohne dass sich irgend welche üblen Folgen für die Zeit des ununterbrochenen Betriebes sowie des ganzen Betriebes überhaupt zeigen dürfen; es wäre aber falsch, wollte man die maximale Beanspruchung der stationären Maschinen dem normalen und voraussichtlichen Verkehrsplane zu Grunde legen.

Die Dampfmaschinen sollen für die normale Leistung, welche sich aus obiger Zusammensetzung ergiebt, nur mit ihrem wirtschaftlich günstigsten Füllungsgrade bei normaler Umdrehungszahl und bestimmter Eintrittsdampfspannung arbeiten und bei dieser Arbeitsleistung während der ganzen Betriebszeit, d. h. also eventuell bei Tag- und Nachtverkehr, 24 Stunden hintereinander keine höhere Temperatur am Lager als 40° C. über die Umgebung aufweisen. Dass derartige Leistungen von anderen Betriebsmaschinen verlangt und erfüllt werden, zeigen Schiffsmaschinen, Fördermaschinen u. dergl. Die durch höhere Dampffüllungsgrade zu erreichende Mehrarbeit soll bei stationären Maschinen nur auf die äusserst kurze Zeit, bis zu zwei Stunden hintereinander, bemessen werden, und selbst bei momentanen Beanspruchungen, die 50% der normalen Leistung überschreiten, dürfen die Lager der Dampfmaschinen niemals mehr wie handwarm werden und die Dynamomaschine niemals eine grössere Temperaturerhöhung als 50° C. über ihre Umgebungstemperatur erhalten. Nach derartig erhöhter Leistung der Maschine muss bei abfallendem Verkehr auf der Bahnstrecke die Erwärmung von selbst auf dasjenige Mass zurückgehen, welches von den normal arbeitenden Maschinen zu verlangen ist. Mit dieser Beanspruchung der Maschine wird es immer möglich bleiben, einen Bahnbetrieb voll aufrecht zu erhalten, ohne jemals der Betriebsschwankungen wegen die Reservemaschine arbeiten zu lassen.

Der Leerlauf der Dampfmaschine soll 10% der Normalleistung niemals überschreiten.

Fast wichtiger als der spezifische Dampfverbrauch, ist ein sparsamer Verbrauch an Öl- und Schmiermaterial, da eine Maschine bei

geringer Schmierung und niedriger Erwärmungstemperatur an den Lagern stets einen leichten Gang und sparsamen Dampfverbrauch haben wird, natürlich unter der Voraussetzung einer modernen guten Bauart der Maschine.

Über die Bauart von Dampfmaschinen sind spezielle Vorschriften nebensächlicher Natur, da heutzutage jede gute Dampfmaschinenfabrik schnell regulierende und vor allem stabile Maschinen baut und es dabei gleichgiltig ist, ob die Maschine stehend oder liegend angeordnet ist, und die Cylinder übereinander, hintereinander oder nebeneinander liegen, ob die Steuerungen nach dieser oder jener Konstruktion durchgeführt sind. Sofern die Erwärmungen der Maschine in den vorgezeichneten Grenzen sich bewegen, wird keine Bauart irgend einen Vorzug geniessen. Ob sich jedoch alle Maschinengattungen hierzu eignen, kann eigentlich jedesmal nur die Praxis lehren. Es stehen praktische Beobachtungen zu Gebote, wonach es empfehlenswert ist, Maschinenaggregate in Grösse von 150—500 PS zu verwenden. Die Tourenzahl dieser Maschinen bewegt sich zwischen 180 und 100 Umdrehungen in der Minute. Maschinen mit direkter Kondensation sind nicht empfehlenswert, da die angegebenen Tourenzahlen für Luftpumpen zu hoch sind; vielmehr empfiehlt es sich, Bahnmaschinen stets an Centralkondensation anzuschliessen, und da in den seltensten Fällen billiges Wasser in der Nähe von Bahnstationen vorhanden ist, wird man stets auf Kondensationswasser-Rückkühlanlagen zurückgreifen müssen.

Vom Standpunkt der Bedienungsbequemlichkeit sind stehende Dampfmaschinen, nach Art der Schiffsmaschinen, stets vorzuziehen, da man an sämtliche Ventile, Steuerungsteile u. dergl. bequem gelangen kann. Stehende Maschinen haben ferner den Vorteil, dass sie äusserst wenig Platz beanspruchen und sehr standfest ohne grosses Fundament aufgestellt werden können.

Liegende Verbundmaschinen sind sowohl in Tandem-Anordnung, als auch in Nebeneinanderlage der Cylinder in Anwendung gekommen.

Die Görlitzer Maschinenbauanstalt, welche mehrere Bahn-Kraftstationen (Halle, Essen, Breslau, Gera) mit ihren Typen ausgerüstet hat, bevorzugt eine Anordnung, bei der der Hochdruckcylinder liegend, der Niederdruckcylinder stehend montiert ist, wobei beide Pleuelstangen an ein und derselben Kurbel angreifen. Fig. 6 zeigt eine derartige Maschine.

Aus Gründen der Einfachheit und Betriebssicherheit wählt man in Amerika neuerdings selbst bei 600 PS Eincylindermaschinen.[1])

[1]) Eine derartige Maschine befindet sich in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure in Nr. 41, S. 1183 des Jahrganges 1896 näher beschrieben und durch Zeichnung erläutert.

Man verzichtet hierbei auf den bei uns üblich gewordenen Dampfausnutzungsvorteil einer Verbundmaschine und dies scheinbar auf Kosten des Betriebes. Nach unseren bisherigen Gepflogenheiten müssten wir diese Ansicht verwerfen, dieselbe sogar als einen Missgriff bezeichnen, welcher vielleicht von der amerikanischen Schablonenarbeit herrührt. Immerhin aber giebt die Thatsache zu Bedenken Anlass und vielleicht ist die Zeit nicht mehr fern, wo auch wir von

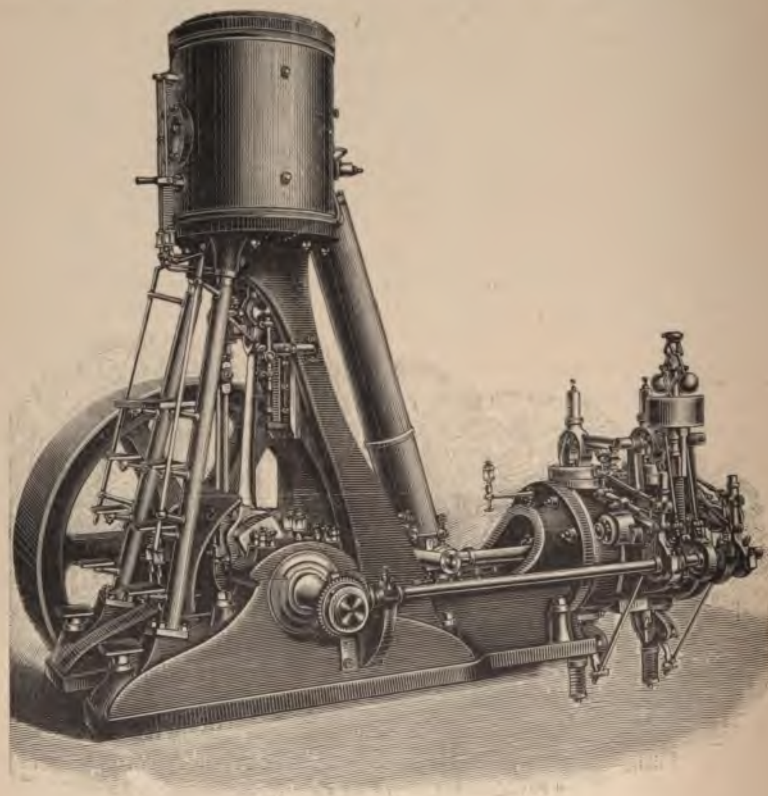


Fig. 6.

den komplizierten Dampfmaschinen abkommen und nach dem einfachsten Modell greifen, das in der Anschaffung und in den Reparaturkosten billiger ist. Ein klassisches Beispiel hierfür ist die de Laval-sche Dampfturbine, welche das Ideal der Einfachheit ist und nur noch mit dem Mangel allzu hoher Umdrehungszahl behaftet ist, im übrigen sich jedoch auch zum Betriebe von Bahnanlagen eignet.

Deren Dampfverbrauch ist bei Anwendung von Kondensation annähernd der gleichwertiger Dampfmaschinen.

Um Rückkühlanlagen mit Kondensation zu vereinigen, hat man Einspritzkondensation durch ein, von besonderer Dampfmaschine oder Elektromotor angetriebenes Pumpwerk an sämtliche Abdampfrohre der Maschine gelegt, welches zugleich das Kondensat auf eine Kühlvorrichtung (Gradierwerk, Kühlturm, Streudüsen) pumpt. Die Kühlung erfolgt durch die Verdunstungskälte, welche entsteht, wenn ein Luftstrom einem fein verteilten Wasserstrom entgegengeführt wird. Der Luftstrom kann dabei mittels natürlichen Zuges durch einen entsprechenden senkrechten Schlot oder durch ein Ventilatorgebläse bewegt werden. In den meisten Fällen vereinigt man beides,

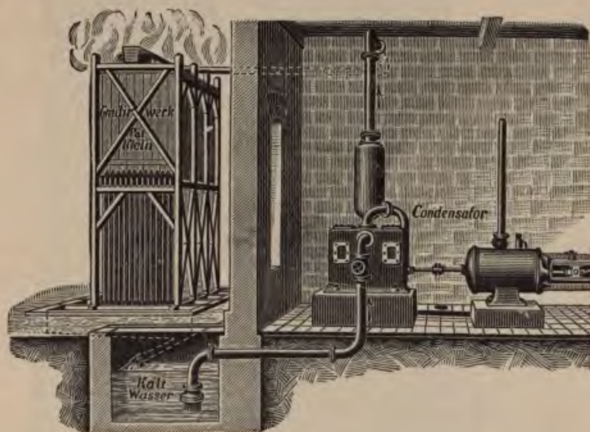


Fig. 7.

weil die Wirtschaftlichkeit der Anlage einerseits dem Bau des notwendigerweise sehr hohen Schlotes und andererseits der Arbeitsleistung der Pumpe zum Hochdrücken des Kondensates seine engen Grenzen zieht. Eine Einspritzkondensations- und Gradierwerkskühlanlage ist durch Fig. 7 dargestelllt. Fig. 8 zeigt einen Kühlturm mit künstlichem Zug wie solcher von der Firma Klein, Schanzlin & Becker in Frankenthal ausgeführt wird.

Das Wasser wird durch die Nassluftpumpe des Kondensators oder durch eine besondere Pumpe auf das Gradierwerk gehoben, läuft durch Röhrchen auf die Kühlwände und fällt an diesen langsam nieder; durch die Berührung mit der Luft wird es dabei gekühlt.

Ein Zusatz an frischem Wasser ist nicht erforderlich, da das durch Verdunstung im Gradierwerk verloren gehende Wasser durch den kondensierten Dampf ersetzt wird.

Bei Raummangel kann das Gradierwerk auch auf dem Dache montiert werden.

Muss man mit teurem Wasser für Kesselspeisung und Kühlung rechnen, so empfiehlt sich die im Bau zwar nicht so wohlfeile, aber

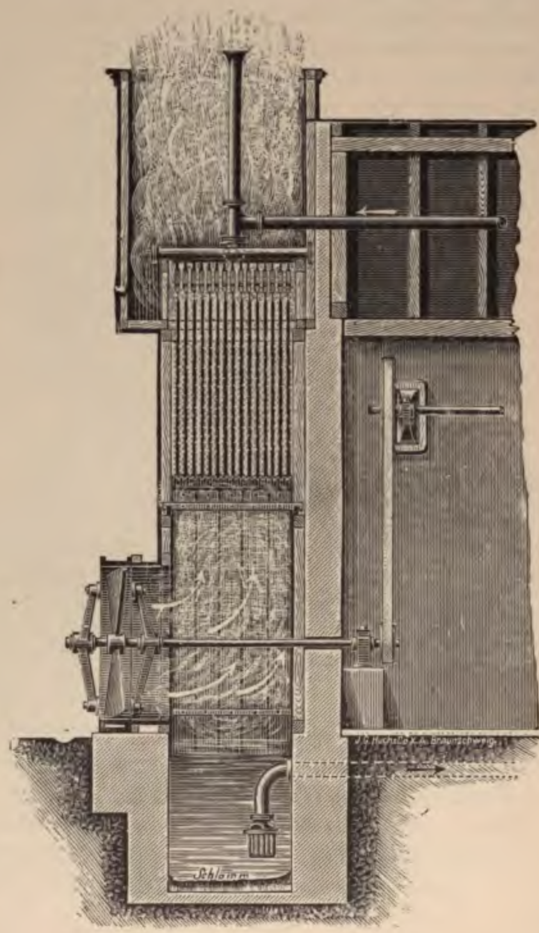


Fig. 8.

für den Betrieb und für die Erhaltung der Kessel ungleich günstigere Anwendung einer Oberflächenkondensation mit gleichzeitig um den Kondensator angeordnetem Verdunstungskühler, wie solche neuerdings bei einigen Bahnkraftwerken mit gutem praktischem Erfolge aufgestellt worden sind. Um von dem Kondensat (destilliertes Wasser)

die Ölbestandteile zu entfernen, muss noch eine Ölabscheidevorrichtung vorgesehen werden. Eventuell kann noch durch eine Wasser-

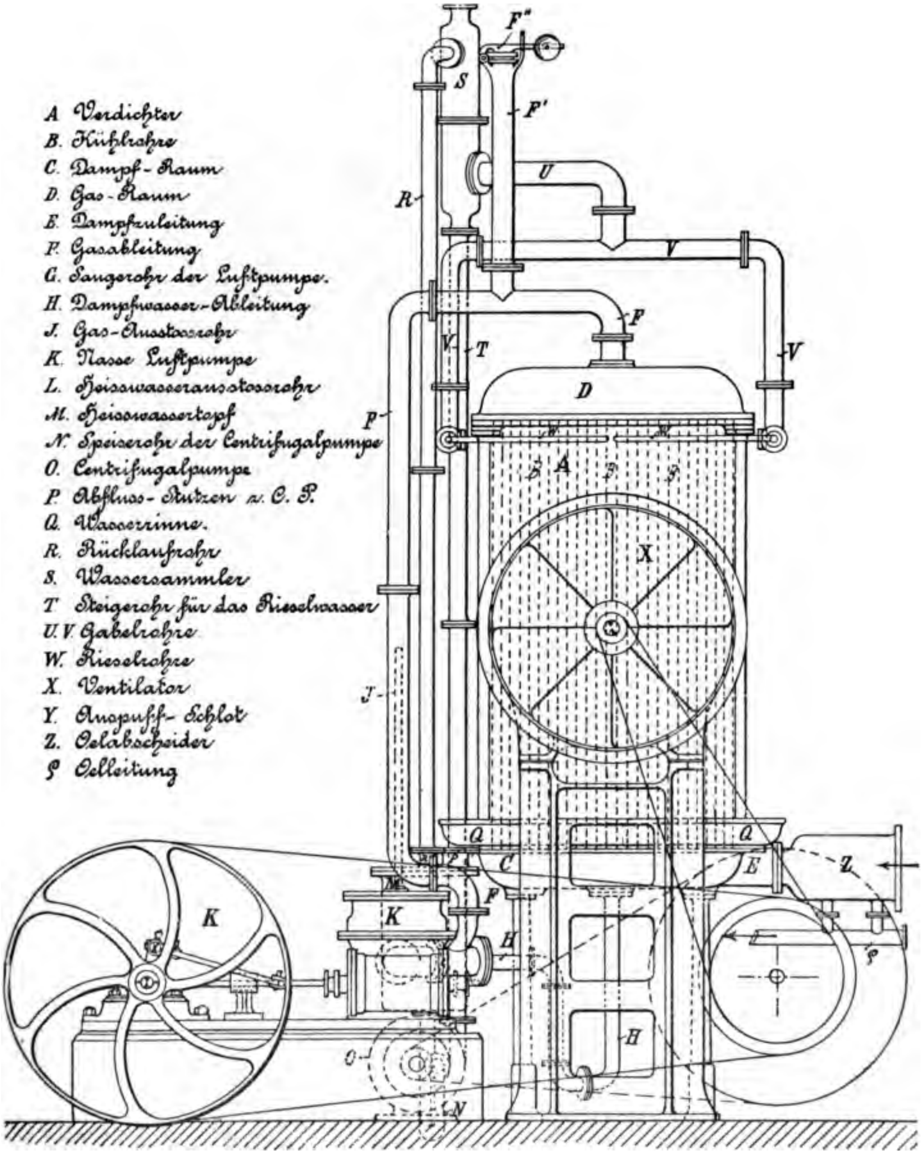


Fig. 9.

reinigungsanlage das durch die Undichtheiten des Dampfrohrsystems notwendige Frischwasser auf billigste Art ersetzt werden.

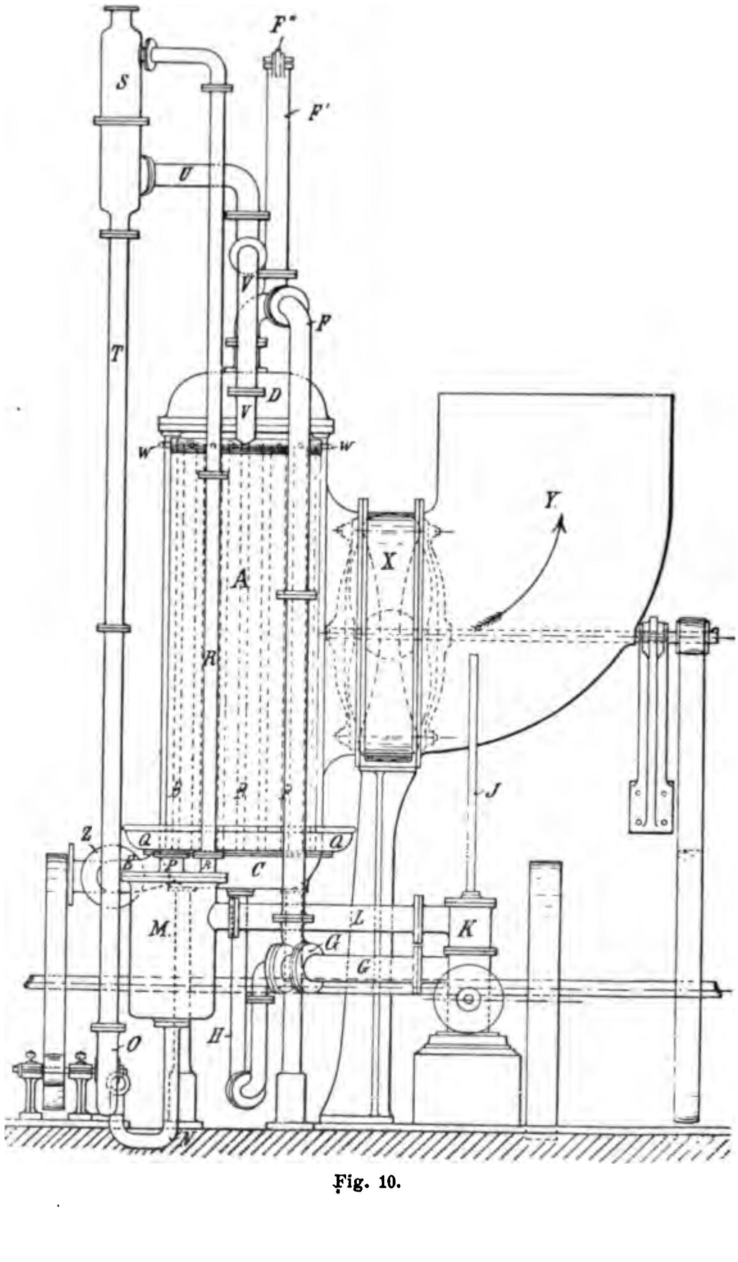


Fig. 10.

In Fig. 9 u. 10 ist ein, nach Schwager'schem System bei mehreren Bahncentralen (Essen, Wiesbaden) in Anwendung gebrachter Oberflächenkondensator mit Röhrenkühler dargestellt. Man kann sich dessen Wirkung als eine Umkehrung des Vorganges beim Wasserrohrkessel denken. An die Stelle des Feuers tritt hier das verdunstende Kühlwasser. In den Röhren wird dort das Wasser in Dampfform übergeführt und hier der Dampf in Wasser.

Den Stromerzeuger durch Riemen oder direkt mit der Dampfmaschine zu kuppeln, hängt von der Grösse der verwendeten Dampf- und Dynamomaschinen ab.

Die Riementransmission hat den Vorzug, dass durch die Elastizität des Riemens die Rotationsungleichheiten der Dampfmaschine sehr gut ausgeglichen werden, dass ferner zwischen der Dampfmaschine und der Dynamomaschine durch den Riemen eine gut isolierte kraftschliessende Verbindung geschaffen ist, und dass sich die Umdrehungszahl der Dampfmaschine und die des Stromerzeugers besser einander anpassen lassen, als bei direkter Kuppelung. Nachteile dieser Übertragung sind das grössere Raumbedürfnis und die Kraftverluste, welche durch die Eigenschaften des Riemens bedingt sind.

Der Vorteil einer direkten Kuppelung, d. h. die Welle des Stromerzeugers bildet mit der Kurbelwelle der Dampfmaschine ein Stück, oder beide Wellen sind an ihrer Stossstelle fest oder elastisch mit einander verbunden, ist der der grösseren Bestriebssicherheit. Es setzt dieses natürlich voraus, dass die inneren Teile der Dynamo einer Stromüberlastung besonders gut widerstehen, was bei den grösseren Dimensionen des Stromerzeugers unschwer zu erreichen ist. Heutzutage werden Dynamomaschinen sogar so widerstandsfähig gebaut, dass sie bei Kurzschluss, ohne Schaden zu nehmen, einfach ihren Betriebsmotor anhalten, wenn nicht, wie bei Riemenantrieb, das kraftübertragende Glied zerreisst oder abspringt. Wenn die beiden Wellen mittels einer elastischen Kuppelung verbunden werden, so erreicht man, wie beim Riemen, die Sicherung gegen momentane übermässige und unregelmässige Beanspruchung. Das geringe Raumbedürfnis der maschinellen Anlage bei direkter Kuppelung macht sich besonders geltend, wenn die Kraftstation auf teurem Terrain innerhalb der Städte liegt.

Als Nachteil der direkten Kuppelung dürfte geltend zu machen sein, dass Dampfmaschine und Stromerzeuger bei der gemeinschaftlichen Umdrehungszahl nicht immer mit gleich gutem Nutzeffekt arbeiten. Erst bei den grösseren ($>$ 200 PS) Typen lässt sich eine gute Übereinstimmung erzielen, wenn der Ankerradius des Stromerzeugers genügend gross ist.

Ist die Betriebsmaschine eine Turbine, so findet der Dynamoantrieb gewöhnlich durch Winkelzahnräder statt, sofern die Dynamo die übliche Bauart mit wagrechter Drehungsachse besitzt. Die direkte Kuppelung mit der vertikalen Turbinenachse bei geeigneter Konstruktion der Dynamomaschine widerspricht dem Gebrauch nicht.

5. Gasmotoren und Kraftgasanlagen.

Obgleich der Gasmotor, wenn er mit Leuchtgas betrieben wird, nur in den kleineren Typen, etwa bis zu 10 PS, in ökonomischer Hinsicht erfolgreich mit der Dampfmaschine konkurrieren kann, ist derselbe z. B. bei der elektrischen Strassenbahn in Kiew zum Betriebe der Stromerzeuger mit gutem Erfolge angewandt worden, weil die örtlichen Verhältnisse und Bedingungen hierzu gedrängt haben. In diesem Falle dürfte der hohe Nutzeffekt der Stromerzeugeranlage erst in zweiter Linie zu beachten gewesen sein.

Es ist nicht bekannt geworden, ob ein Bahnbetrieb mittels stationärer Gasmotoren in verschiedenen, im Bahnnetz verteilten kleineren Unterstationen betrieben worden ist; man kann jedoch nicht in Abrede stellen, dass unter gewissen Verhältnissen eine derartige Anlage rentabel werden könnte. Wenn z. B. ausserhalb des Bahnnetzes eines grösseren Ortes ein Ausläufer nach einer kleinen, mit Gasanstalt versehenen Ortschaft betrieben werden muss, so kann als Ersatz schwerer Speiseleitungen für diesen Ausläufer eine Gasmotorenunterstation an geeigneter Stelle die denkbar besten Dienste leisten.

Die Gasmotorentechnik ist seit langer Zeit bemüht, das wohlfeilere Kraftgas, ein Gemisch von Generatorgas und Wassergas, für die Gasmotoren nutzbar zu machen und hat erreicht, dass auch grössere Gasmotorenbetriebe wirtschaftlich sein können.[1]) So z. B. wurde die Lyoner elektrische Ausstellungsbahn mittels 100 PS Gasmotoren betrieben, wobei das Betriebsgas an Ort und Stelle erzeugt wurde. Der Kohlenverbrauch für die Pferdekraftstunde betrug einschliesslich allem Nebenverbrauche 0.5 *kg*, eine Zahl, mit der man sehr wohl rechnen kann. Die Baukosten der gesamten Generator- und Motorenanlage stellen sich nicht höher als bei Dampfbetrieb, ebenso gleichen sich bei beiden Betriebsarten die Betriebskosten fast aus. Als Grund der geringen Verbreitung von Kraftgasstationen ist anzuführen, dass erstens das Kraftgas giftig ist, mithin sehr vorsichtig gehandhabt werden muss, und dass zweitens der Bau sehr grosser Gasmotoren auf Schwierigkeiten stösst. Bei einer Leistung von 150 PS scheint im allgemeinen die Grenze gezogen zu sein.

---

[1]) Vergl. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1896, Nr. 16, S. 421.

In der Fig. 11 ist die schematische Gesamtansicht einer Kraftgaserzeugungsanlage dargestellt. In derselben bedeutet G den Generator, E die Füllvorrichtung für das Brennmaterial, U das Unterwindgebläse, V den Luftkühler bezw. Vorwärmer, A den Austritt des Gases, D den Dampfkessel, J die Vorrichtung zur Regelung der Leistung, C den Wasserkühler, K den Kühlwassereinlauf, L den Kühlwasserablauf, W_1 W_2 W_3 die Wascher, S den Absperrschieber, B den Gasbehälter oder besser gesagt den Gasregulator, H H_1 die Wasserabscheider, R den Abgang für das Gas.

Die Erzeugung des Kraftgases geschieht in einem Generator, in welchen der zu vergasende Brennstoff (Anthracit oder Koks) von oben eingeschüttet wird, während von unten mittels eines Unter-

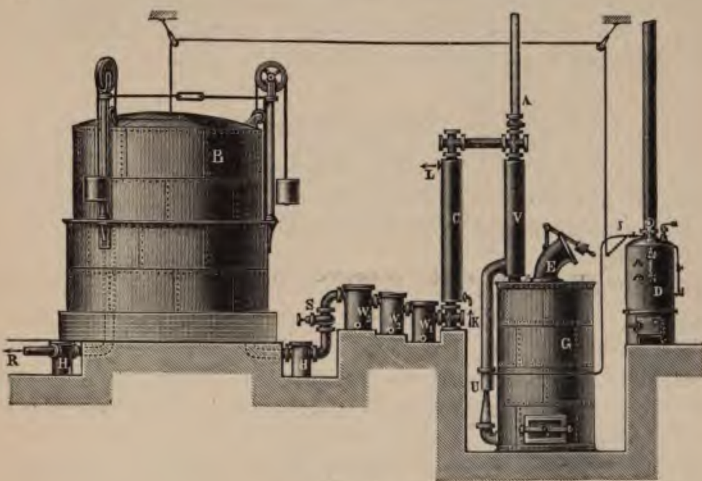


Fig. 11.

windgebläses die zur Vergasung notwendige, mit Wasserdampf vermischte Luftmenge unter den Rost geblasen wird. Zur Erzeugung der für das Gebläse nötigen, geringen Dampfmenge ist ein ganz kleiner Dampfkessel erforderlich.

Das in dem Generator entwickelte heisse Gas streicht durch einen Gegenstromluftkühler, der zugleich die Gebläseluft vorwärmt; die weitere Abkühlung des Gases geschieht durch einen Gegenstromwasserkühler. Von diesem geht das Gas durch die Wascher oder Reiniger, um sich von teerigen und staubigen Beimengungen, soweit solches für den Betrieb der Motoren erforderlich, zu befreien, und von dort gelangt es in den Gasbehälter, aus welchem es den einzelnen Verbrauchsstellen zugeführt wird.

6. Wind- und Wassermotoren.

Da, wo die Naturkräfte direkt in Bewegung umgewandelt werden können, ohne erst des bei der Kohle erforderlichen Übergangsstadiums der Wärme zu bedürfen, ist die Dampfmaschine durch entsprechende Motoren ersetzt. In Betracht kommen hier eigentlich nur Wassermotoren, da Windmotoren noch nicht zu derjenigen Vollkommenheit gelangt sind, um eine beständige Arbeitslieferung in genügender Grösse gewährleisten zu können.

Aber auch das Wasser ist nur in ganz seltenen Fällen für jede Jahreszeit wirklich zuverlässig. In wasserreichen Gegenden, z. B. in der Schweiz, nutzt man mit Vorteil die Wasserkräfte aus, ohne dass man nebenbei Dampfbetrieb vorzusehen nötig hat.

Bei uns in Deutschland wird man wohl immer neben den Wassermotoren noch Wärmemotoren aufstellen müssen, um einen Bahnbetrieb jederzeit sicher aufrecht erhalten zu können.

7. Stromerzeuger.

Die durch Dampf, Wasser, Wind, Gas u. s. w. erzeugte Bewegung, die für unsere Zwecke stets eine rotierende sein muss, wird in den Stromerzeugern (Dynamomaschinen) in elektrischen Strom umgewandelt.

Da für unsere Zwecke bis jetzt nur die eine Stromart, der Gleichstrom, in Betracht kommt, so brauchen wir uns hier nicht mit Wechselstrom zu befassen, obgleich die fernere Entwickelung elektrischer Bahnbetriebe für grosse Entfernungen im wesentlichen mit der Erzeugung von Wechselstrom und dessen Abarten zu rechnen haben wird.

Die Gleichstromerzeuger können nun zweifacher Art sein.

Man findet in den Betrieben sowohl Nebenschluss- als auch Verbundmaschinen in Anwendung, und zwar die letzteren wegen ihrer guten Selbstregulierung, die ersteren wegen ihres guten Nutzeffektes bei allen Belastungen. Es lässt sich für die Entscheidung, welche Gattung in jedem Falle die geeignetere ist, die Regel aufstellen, dass bei wenig Wagen und eingleisiger Strecke, wo der ausgleichende Kraftverbrauch durch gleichzeitiges Anfahren sämtlicher Wagen sowohl von der Dampfmaschine als auch von dem Stromerzeuger übernommen werden muss, die Verbund-(Dynamo-) Maschine die besten Dienste leisten wird, während bei grosser Wagenzahl und zweigleisiger Strecke, wo der Kraftverbrauch ein regelmässiger sein wird, weil es selten vorkommt, dass sämtliche Wagen zu gleicher Zeit anfahren, der mit bestem Nutzeffekt arbeitende Nebenschluss-Stromerzeuger vorzuziehen ist.

Ein scheinbarer Vorzug der Nebenschlussmaschine wird oft darin gesucht, dass dieselbe bei Kurzschluss auf der Strecke stromlos

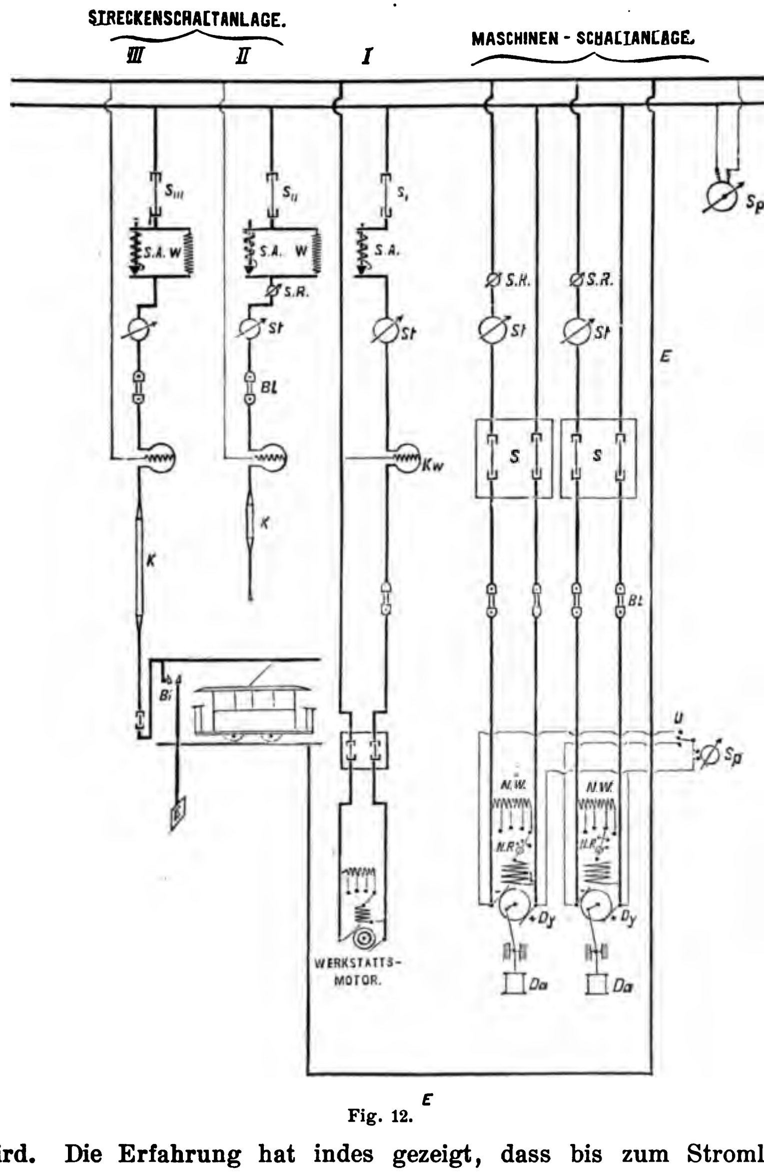


Fig. 12.

wird. Die Erfahrung hat indes gezeigt, dass bis zum Stromloswerden immerhin noch so viel Zeit verstreicht, als erforderlich ist, eine Wärmeüberlastung herbeizuführen.

Serienmaschinen als Primärdynamos sind bei nennenswerten Anlagen bisher nicht verwendet worden. Dagegen ist diese Dynamo als Zusatzmaschine für eine entfernt liegende Bahnstrecke von besonderem Werte, wenn es sich darum handelt, an Stelle starker Speisekabel, die vielleicht nur an starken Betriebstagen ausgenutzt werden, eine höhere Spannung am Endpunkt zu haben. Diese Zusatzmaschine wird alsdann durch einen beliebigen Motor (Nebenschlussmotor, Gasmotor u. dergl.) angetrieben.

Über die Bauart der Dynamos gelten als besondere Bedingungen, dass dieselben alle Stösse leicht aufnehmen müssen, ohne deshalb ein Feuern an den Stromabnehmerbürsten zu bewirken, dass die Erwärmung des Ankers, der Schenkel und der Lager im Normalbetriebe nicht mehr als 40° C. und im zweistündigen Maximalbetriebe nicht mehr als 50° C. über Umgebungstemperatur sein darf. Besitzt die betriebene Bahn Fahrschienenpol, so müssen alle Klemmen der Betriebsdynamo, welche mit dem Pol der oberirdischen Stromzuführung in Verbindung stehen, gegen äussere Berührung durch den dienstthuenden Wärter geschützt sein. Ausserdem muss die Leitung dieses Pols an allen vorspringenden Kanten und Ecken besonders weit von der Erdpolleitung entfernt sein, um dem Blitz ein Überspringen an der Maschine zu erschweren.

Der Kommutator soll möglichst geringer Wartung bedürfen, da die Bahnbetriebsmaschine tagsüber ohne Unterbrechung arbeiten soll.

8. Schaltanlage.

Der erzeugte Betriebsstrom, welcher bei allen neueren Anlagen mit 300—600 Volt Spannung in die Schaltanlage tritt, wird wie bei anderen Elektrizitätswerken in üblicher Weise gemessen, verteilt, gesichert, registriert u. s. w.

In der Fig. 12 befinden sich rechts die Dampfmaschinen Da, welche die Dynamomaschinen Dy antreiben. Zur Regulierung des Nebenschlusses muss auf der Schaltbühne der Nebenschlussregulierwiderstand angebracht werden. Derselbe ist mit NR bezeichnet. Zur Messung der Netzspannung und der Maschinenspannung dienen die Spannungsmesser Sp und der Umschalter U. Zwischen den Hauptleitungen der Maschinen und den Sammelschienen einer Schaltanlage befinden sich noch Bleisicherungen Bl, doppelpolige Hauptschalter S, Strommesser St und Stromrichtungszeiger SR; die Einschaltung von Starkstromautomaten in diesen Leitungen erübrigt sich, da in die Streckenleitungen solche Apparate eingebaut werden müssen. Von den Sammelschienen werden nun die Streckenleitungen und die Leitungen für den Betrieb von etwaigen Werkstattmotoren abgezweigt, wie die linke Hälfte des Bildes zeigt.

Leitung I zeigt eine zweipolige Leitung zum Treiben eines Werkstattmotors. Diese Leitung enthält: einen einpoligen oder eventuell auch zweipoligen Schalter S′, einen Starkstromausschalter SA, einen Stromzeiger $S_{,}$, einen Kilowattstundenzähler Kw, eventuell noch eine Bleisicherung. Der auf der Figur weiterhin angegebene doppelpolige Ausschalter, sowie der Nebenschlussregulator gehören nicht zur Hauptschaltanlage, sondern werden in der Nähe des aufzustellenden Motors auf besonderem kleinen Schaltbrett montiert.

Leitung II stellt eine einpolige Abzweigung von der Hauptsammelschiene zu einer Strecke dar, auf welcher ein gemischter Betrieb stattfindet, d. h. auf welcher teilweise mit direkter Stromzuführung zum Wagen, teilweise mit Entladung der auf der direkten Strecke geladenen, im Wagen mitgeführten Akkumulatoren gefahren wird. Die direkte Stromzuführung kann sowohl oberirdisch als auch unterirdisch sein, ohne dadurch Änderungen an der Schaltanlage zu bedingen. Für die Streckenleitung genügt ein einpoliger Schalter $S_{,,}$, hinter welchem der Streckenautomat SA, ein Stromrichtungszeiger SR, ein Strommesser, eine Bleisicherung, ein Kilowattzähler vor der Einmündung in das Streckenkabel K eingeschaltet ist. Um beim Ausspringen die Abreissfunken an den Starkstromausschaltern zu verringern, empfiehlt es sich noch, der Funkenstrecke einen hohen Widerstand W ständig parallel zu schalten. Der Stromrichtungszeiger hat in dieser Leitung den Zweck, anzudeuten, ob infolge irgend eines Betriebs- oder Schaltungsfehlers die auf der Strecke befindlichen Akkumulatoren Strom aus der Sammelschiene der Station erhalten oder ihr denselben abgeben. Ein derartiger Stromrichtungszeiger kann mit einer signalisierenden Kontaktvorrichtung versehen sein, um dem Schaltwärter automatisch ein Zeichen geben zu können, wenn umgekehrte Stromrichtung vorhanden ist. Für eventuelle Fälle kann der Starkstromautomat für umgekehrte Stromrichtung zum Ausspringen eingerichtet werden.

Die unter III dargestellte einpolige Leitung ist ebenso beschaffen wie Leitung II mit Auslassung des hier überflüssigen Stromrichtungszeigers. Das mit K bezeichnete Stück des Leitungsweges bedeutet das unter- oder oberirdische Kabel bis zur Verwendungsstelle. Nach Austritt des Stromes aus dem Kabel wird mittels eines wiederum einpoligen Schalters die oberirdische bezw. unterirdische Leitung mit der Kraftstation in Verbindung gebracht. Der mit Bi bezeichnete Apparat stellt schematisch eine an Erde und Schienen angeschlossene Blitzableitung auf der Strecke dar. Die Fahrschienen der Bahn sind entweder durch die Erde oder durch besondere Leitungen an die Erdsammelleitung der stationären Schaltanlage gelegt. Diese Leitung ist mit E bezeichnet.

Der das Schaltbrett bedienende Beamte soll sowohl sämtliche Schalt-, Mess- und Kontrollapparate von seinem Standpunkt aus übersehen, als auch zu gleicher Zeit einen vollständigen Überblick über das Maschinenhaus bezw. die einzelnen Maschinen behalten. Es empfiehlt sich daher, die Schaltbühnen erhöht anzuordnen, sodass der Schaltwärter unbehindert die Thätigkeit des Maschinisten beim Ein- und Ausschalten, sowie beim Regulieren der Dampfmaschinen zu beobachten vermag. In jedem Maschinenhause wird sich bei einer Anordnung, die wenig Raum einnimmt, die Schalttafel erhöht aufstellen lassen.



Fig. 13.

Eine für Bahnschaltanlagen besonders günstige Anordnung der Schalttafel sei im folgenden erwähnt:

Durch Fig. 13 ist eine Säule dargestellt, welche sowohl den Spannungsmesser Sp der Dynamomaschine, als auch den des Netzes mit ihren Vorschaltwiderständen VW und den Umschalter U trägt, und welche durch eine besondere Glühlampe Gl erleuchtet ist. Diese Spannungsmessersäule muss so aufgestellt werden, dass von jeder Stelle einer langgestreckten Schaltanlage dieselbe übersehen werden kann. Sind die Spannungsmesser genügend gross, so kann die Entfernung der Spannungsmessersäule ebenfalls gross sein, event. verwendet man Spannungsmesser, welche an der Hinterwand transparent sind und die Stellung des Zeigers auch von hinten sichtbar machen. Die dünnen Spannungsleitungen bieten keine Schwierigkeiten, die Säule an einen beliebigen Platz zu stellen. In Fig. 14 ist eine kleinere gusseiserne Säule für die Unterbringung der Schalter, Stromzeiger, der Mess- und Regulierapparate dargestellt. Es ist hier gedacht, dass in Abständen von 2 bis 3 *m* die Säulen auf erhöhtem Podium aufgestellt sind, und dass dieselben durch U-Eisen, in der Figur als solche dargestellt, in ihrer Längsrichtung verbunden werden; zwischen diesen U-Eisen wird die Schiefer- oder Marmortafel in üblicher Weise befestigt. Auf den Marmortafeln werden die Schalter angeschraubt.

Der nach oben gehende, an die Säule angegossene Arm trägt einen horizontalen Holzträger für die zu den Leitungen nötigen Strommesser, die zweckmässig ebenso wie die Spannungszeiger im Nebenschluss zur Hauptleitung messen und deshalb nur mittels dünner Leitungen angeschlossen werden. (Vergleiche Präzisionsstrommesser von Siemens & Halske, Weston, Hitzdrahtstrommesser von Hartmann & Braun.) Innerhalb der gusseisernen Säule werden die Kabel von der Maschine bezw. nach den Strecken hoch geführt, sodass die Kabelanschlussstellen, wie die Figur zeigt, dicht hinter den Marmortafeln befestigt werden. Die mit Sa bezeichneten Sammelschienen gehen durch die ganze Länge des Maschinenschalttisches, welcher durch Fig. 14 im Vertikalschnitt dargestellt wird. Unterhalb der schrägliegenden Marmortischplatte bietet sich ein bequemer Raum zur Unterbringung der Regulierwiderstände an dem Maschinenschalttische und der Kilowattzähler an den Streckenschalttischen, deren äussere Form natürlich die gleiche ist. Der Schalthebel H kann so ausgebildet werden, dass er zugleich die Bleisicherung in sich trägt, ähnlich wie man die Schalthebel für Hochspannungsanlagen ausführt. Bei grossen Schaltanlagen ist bekanntlich das Einsetzen der Bleisicherung während des Betriebes mit grossen Schwierigkeiten verknüpft. Durch diese Konstruktion von Schalthebeln ist man in der Lage, auch während des Betriebes eine durchgeschmolzene Bleisicherung durch Einsetzen eines in Bereitschaft liegenden neuen Schalthebels zu ermöglichen. Zu diesem Zwecke muss der Hebel den punktiert angedeuteten Schlitz erhalten, damit er zwischen den Backen der Schalterklammern sicher geführt wird.

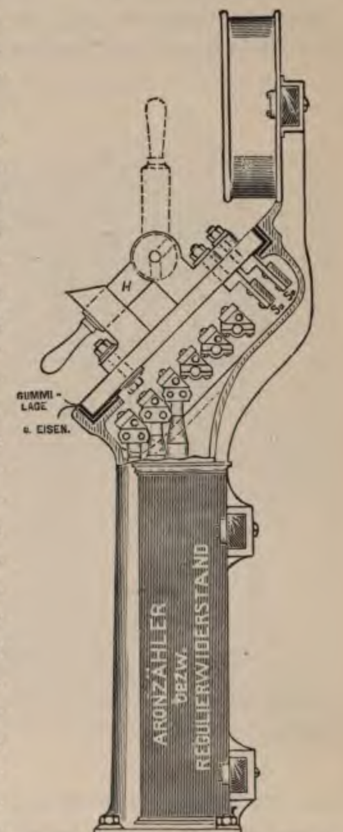


Fig. 14.

In Fig. 15 ist die Anordnung der Schaltersäulen bezw. des Schaltertisches zur Spannungssäule schematisch angedeutet. Die vertikalen Mittelachsen sämtlicher Säulen befinden sich demnach in einer

geraden Fläche. Diese Fläche stellt die für Projektierung der Schaltanlage massgebende Achse dar.

Als ein Vorteil dieser Anordnung bleibt zu erwähnen, dass es möglich wird, stets dem wachsenden Bedürfnis einer Bahn auch in der Schaltanlage so zu folgen, dass die symmetrische Disposition dieser Schaltanlage durch Neubauten nicht beeinträchtigt wird. Der Schaltertisch kann in beliebiger Länge nach beiden Seiten, d. h. also sowohl nach der Seite der Maschinenschalttafel, als auch nach der Seite der Streckenschalttafel, verlängert werden. Hierbei ist angenommen, dass die Spannungsmessersäule den Mittelpunkt des Schalttisches einnimmt, und dass nach der einen Seite der Maschinenschalttisch, nach der anderen Seite der Streckenschalttisch angereiht werden. Natürlich kann man auch die Spannungsmessersäule an das Ende der Schalttische montieren und bei Erweiterung der Anlage dieselbe weiterrücken.

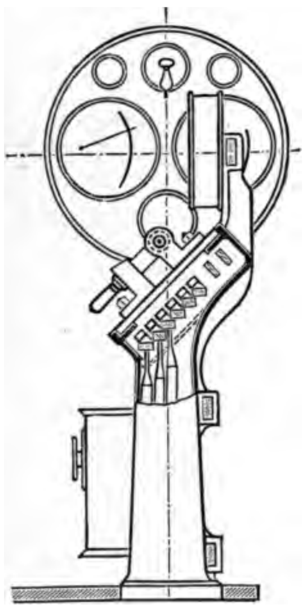


Fig. 15.

Ein besonderes Augenmerk ist auf die Anlage guter Blitzableiter zu legen, da der blanke Fahrdraht der Strecke dem Blitz einen bequemen Weg bietet, seinen Erdschluss durch die Schaltanlage bezw. durch die Maschinen zu begünstigen.

Diese Stationsblitzableiter werden zweckmässig nicht in unmittelbarer Nähe der Schaltapparate angebracht, sondern an der Wand des Maschinenhauses. Da die meisten Blitzableiter auch für die Streckenausrüstung konstruiert sind, können die gleichen Apparate, für die Station verwendet, an der Aussenwand befestigt sein.

Dagegen müssen die selbstthätig wirkenden Starkstromausschalter im Bereich des Schaltwärters angeordnet sein und zwar dicht neben den Hebelschaltern.

Um ein zu starkes Anwachsen des Stromes zu verhindern, verwendet man im allgemeinen Schmelzsicherungen, denn dies ist die einfachste und billigste Art, um die Leitungen vor zu starker Erhitzung und den daraus folgenden Gefahren zu schützen. Diese Sicherung leistet bei Bahnanlagen nicht den gewünschten Dienst, und ihre Verwendung wird zu teuer und zeitraubend, sobald die Ausschaltung der Leitung sehr häufig erfolgt, da jedesmal neue Bleistreifen eingesetzt werden müssen.

Der von der Firma Siemens & Halske angewandte selbstthätige Ausschalter ist in Fig. 16 veranschaulicht. Derselbe reicht bis zu 450 Ampère Ausschaltstrom. Da bei diesen Ausschaltern im Augenblick ihrer Wirksamkeit naturgemäss starke Öffnungsfunken entstehen, so besitzen sie doppelte Kontakte in Parallelschaltung, einen metallischen Kontakt in Gestalt zweier federnden, um eine Achse drehbaren Klotzbürsten mit auswechselbaren Gleitbacken, der durch die Kraft der spiraligen Spannfeder zuerst geöffnet wird, und einen Kohlenkontakt, der durch einen an der Achse befestigten Hebel mit Stift nachträglich geöffnet wird und den Lichtbogen zieht, wenn die Achse sich aus der Kontaktstellung der Klotzbürsten herausgedreht hat.

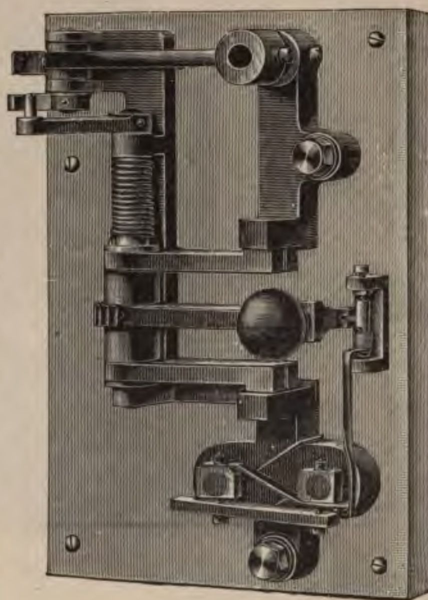


Fig. 16.

Die Auslösung erfolgt durch den Schlag des Magnetankers auf eine Feder, wodurch die Sperrvorrichtung, ein drehbar gelagerter Halbcylinder, frei gemacht wird.

Durch Verwendung von Prellfedern wird jede Erschütterung durch den Ruck im Augenblicke des Ausschaltens vermieden.

Einer grossen Verbreitung erfreut sich der mit Funkenteilung und magnetischer Funkenlöschung versehene Starkstromausschalter, wie er von der Union Elektrizitäts-Gesellschaft hergestellt wird. Derselbe ist in Fig. 17 dargestellt und in seinem Stromlauf durch Fig. 18 erläutert. [1])

Wenn der Schalter eingelegt ist, berührt Bügel b die Flächen a a^1, c macht jedoch zuvor bei d d' Kontakt, so dass der Strom von F durch e, a, b, a^1 nach der Sammelschiene gelangen kann. Beim Ausschalten, d. h. bei Stromüberlastung in der Spule e, wird der Hebel h ausgelöst, wodurch das Segment b durch Federkraft ab-

[1]) Eine sehr eingehende Beschreibung dieses Ausschalters hat F. Uppenborn in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1896, Nr. 51, S. 1476 u. ff., gegeben.

gezogen wird und zuerst bei a a[1] unterbricht. Dadurch erhalten die Magnete $M M_1$ den Hauptstrom und erzeugen ein, den alsdann zwischen $d c d_1$ auftretenden Unterbrechungsfunken ausblasendes Magnetfeld.

Kontaktflächen, die unter Spannung den Betriebsstrom unterbrechen sollen, lässt man am besten nicht aneinander gleiten, sondern voneinander abheben, um zu vermeiden, dass die Erwärmung der Flächen ein Festschmoren begünstigt.



Fig. 17.

9. Licht- und Kraftbetriebe.

Es liegt nahe, elektrische Gleichstromlichtcentralen mit elektrischen Bahnkraftwerken in einem Gebäude zu vereinigen, da beiden Betrieben der elektrische Strom gemeinsam ist.

Obgleich aber die Spannungsverhältnisse für Beleuchtung und für Bahnbetrieb nicht harmonieren, so liegt sowohl technisch wie finanziell in gewissen Fällen ein Vorteil in dieser Kombination, besonders wenn jede der Anlagen oder eine derselben zu klein ist, um allein wirtschaftlich betrieben zu werden.

Dr. Martin Kallmann, Stadtelektrotechniker Berlins, hat in einem

sehr eingehenden Vortrag im Elektrotechnischen Verein zu Berlin eine diesbezügliche Zusammenstellung aller wirtschaftlichen Fragen gegeben, auf welche hier hingewiesen sein möge. (Vergl. den Bericht in der ETZ 1895, Heft 50, S. 793.)

Bei einer Beleuchtungsanlage mit Mehrleitersystem ist es ohne weiteres möglich, für den Bahnbetrieb eine Spannung von 300 oder 500 Volt aus den Aussenleitern zu entnehmen, indem alsdann die

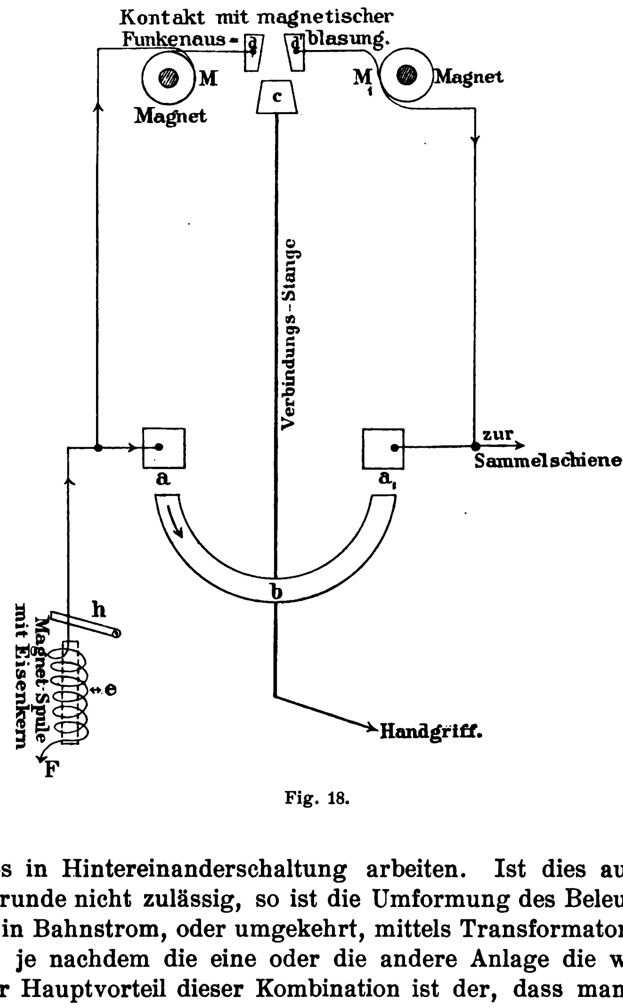


Fig. 18.

Dynamos in Hintereinanderschaltung arbeiten. Ist dies aus irgend einem Grunde nicht zulässig, so ist die Umformung des Beleuchtungsstromes in Bahnstrom, oder umgekehrt, mittels Transformatoren anzuwenden, je nachdem die eine oder die andere Anlage die wichtigere ist. Der Hauptvorteil dieser Kombination ist der, dass man nur ein Reserve-Aggregat an Kesseln und Maschinen nötig hat und dass der

Betrieb und die Verwaltungskosten spezifisch verbilligt werden. In Deutschland sind derartige Anlagen in Gera, Zwickau, Hamburg, Stuttgart, Berlin ausgeführt.

In Städten mit Wechselstrom-Lichtcentralen hat man sich dazu entschliessen müssen, besondere Bahnkraftwerke mit Gleichstrom anzulegen, wie in Chemnitz, Dresden, da praktische Erfahrungen über Bewährung von Wechselstrom-Gleichstromtransformatoren bei uns noch nicht zu verzeichnen sind. In Frankfurt am Main beabsichtigt man jedoch, die Bahnen aus dem bestehenden Wechselstromnetz mittels rotierender Transformatoren zu betreiben.

Der Wechselstrom bietet die bequemste Gelegenheit, den üblichen beiden Spannungen von 110 bezw. 220 Volt für Licht und 500 Volt für Bahnen an ein und derselben Maschine Rechnung zu tragen und gleichzeitig eine rationelle Fernleitung bei hochgespanntem Strome zu ermöglichen. Es giebt andererseits kein besseres System, als Licht- und Kraftabgabe in der Kraftstation so zu vereinigen, dass nicht nur die Kessel, sondern auch die Dampfmaschinen, Dynamos und sonstigen Apparate sowie Leitungen gegenseitig eine passende Reserve bilden. Die hierzu nötigen Mittel für die Lichtanlage zu beschreiben, kann an dieser Stelle wohl erspart bleiben, während den Bahnstromtransformatoren einiges Interesse gewidmet werden muss.

Vorläufig können für die Transformierung des hochgespannten Wechselstromes in 500-voltigen Gleichstrom nur Rotationsumformer vorgesehen werden. Dieselben bestehen aus asynchronen Drehstrommotoren, welche je mit einer entsprechenden Gleichstromdynamo möglichst direkt gekuppelt sind. Bei synchronen Motoren sind zum mindesten grosse Schwungräder zwischen Motor und Dynamo zu schalten, damit der Synchronismus bei den auftretenden Schwankungen des Stromverbrauches nicht beeinträchtigt werden kann. Zur Bedienung eines derartigen Umwandlers ist nur eine Person erforderlich, welche noch mit irgend einer Nebenbeschäftigung versehen werden kann.

Der Drehstrom als Kraftübertragung von einer grossen Centralstation nach kleineren Bahnunterstationen wurde zum erstenmal in Amerika in Norwich, Conn., von der General Electric Company angewandt.

In Taftville wird der Drehstrom erzeugt und nach dem 6,5 *km* entfernten Ponemah übergeführt, woselbst mittels eines synchronen Motors eine für den Bahnbetrieb aufgestellte Dynamo angetrieben wird. Desgleichen wird in Folsom, Cal., Dreiphasenstrom von 11000 Volt Spannung erzeugt und auf eine Entfernung von 38,6 *km* nach Sacramento übertragen, um hier mittels Rotationstransformatoren (Drehstrommotor-Gleichstromdynamo) auf die Bahnbetriebsspannung von 500 Volt umgewandelt zu werden. Diese Anlage funktioniert seit ihrer Eröffnung gut.

Schliesslich ist in Lowell, Massachusetts, eine ähnliche, noch etwas einfachere Anlage betreffs der Transformierung eingeführt und als bewährt gefunden worden.

Bei uns in Deutschland schweben derartige Projekte für die Aussenstrecken der Strassenbahn Hannover, woselbst, von dem Standpunkt der Centralisierung und der Kabelersparnis ausgehend, diese Betriebsart mit wirtschaftlichem Erfolge ins Auge gefasst wurde.

Ein weiteres Verfahren, hochgespannten Wechselstrom in 500 Volt Gleichstrom zu verwandeln, ist von Pollack-Frankfurt am Main angegeben worden. Hier soll zunächst durch einen gewöhnlichen Wechselstromtransformator der hochgespannte Fernstrom auf 500 Volt Wechselstrom gebracht werden. Alsdann wird der Wechselstrom mittels eines gewöhnlichen rotierenden Kommutators, der wiederum durch einen synchronen Motor bewegt wird, zum gleichgespannten Gleichstrom gewendet.

Derartige Anlagen befinden sich in Anwendung in Bielitz-Biala und Rom. Bei ersterer Anlage arbeitet der Umwender parallel mit einer Akkumulatorenbatterie, im letzteren steht derselbe als Reserve für eine Gleichstromdynamomaschine, welche neben der städtischen Wechselstrom-Beleuchtungscentrale für die kleine Bahn aufgestellt wurde, bereit. Beide Anlagen gestatten allerdings noch keinen endgiltigen Schluss auf die Brauchbarkeit des Pollack'schen Umwenders zu ziehen. Es liegt die Vermutung nahe, dass grosse Funkenerscheinungen am Kommutator auftreten werden, was vielleicht noch durch verbesserte Konstruktionen verhindert werden wird. Ein prinzipieller Nachteil dieses Verfahrens liegt in der Unmöglichkeit, einen kontinuierlichen Strom zu erhalten, da die Strom- und Spannungsschwankungen des Wechselstroms bezw. Drehstroms unverändert bleiben, sich vielmehr nur auf die eine Seite der Nullachse legen. Die Erdströme werden die gleichen Schwankungen (Pulsationen) mitmachen und damit die Störungsbereiche in Mitleidenschaft ziehen.

Eine weitere Möglichkeit, von einer Wechselstromlichtanlage Gleichstrom für die Bahn zu erhalten, bietet der Déri'sche Wechselstromgleichstromumformer, welcher den vorerwähnten Übelstand vermeidet und einen kontinuierlichen Gleichstrom von konstanter Stärke liefert. Der Form nach ist dieser Umformer eine Nebenschlussdynamo, bei welcher auf der Achse ausser dem Kollektor noch zwei Schleifringe angebracht sind, die mit entsprechenden Stellen der Wicklung verbunden sind. Der Déri'sche Umformer erfordert eine grössere Wartung als der rotierende Kommutator.

Zur direkten Umwandlung eines 2- oder 3-phasigen Wechselstromes in Gleichstrom beliebiger Spannung, wird nach dem System von Hutin & Leblanc von der Société anonyme pour la transmission

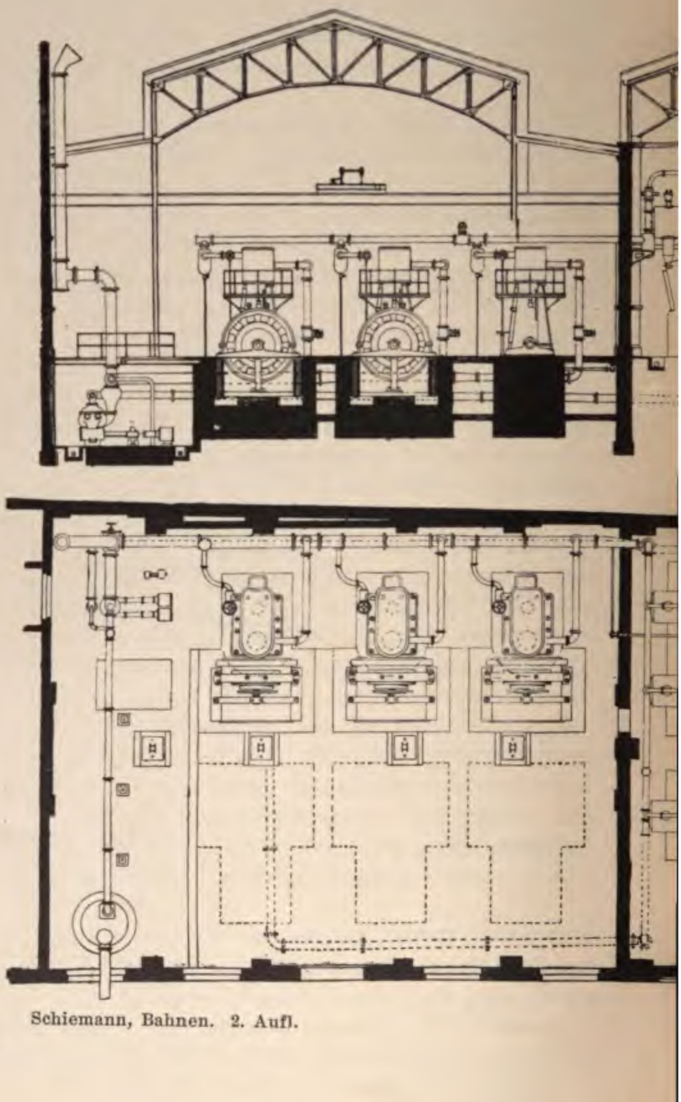
de la force par l'électricité in Paris ein Apparat gebaut, der sich vorläufig noch nicht auf einfachen Wechselstrom anwenden lässt. Der Apparat stellt eine Kombination des Pollack'schen Stromwenders und des Déri'schen Apparates dar, soweit sich dies aus den spärlichen Veröffentlichungen ersehen lässt.

Man ersieht hieraus, dass man allenthalben bestrebt ist, einen einfachen Umwandler von Wechsel- und Gleichstrom zu erreichen, um die guten Eigenschaften beider Stromarten von Fall zu Fall ausnutzen zu können.

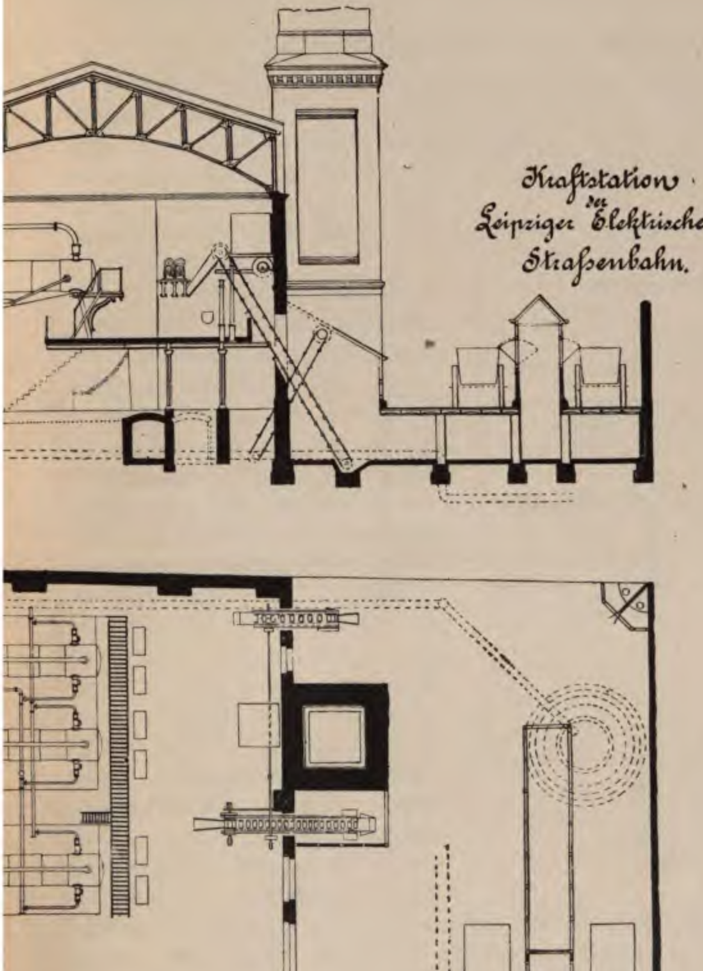
Die Vorteile des Systems, mittels kleiner Unterstationen ein ausgedehntes Bahnnetz zu betreiben, liegen ausser in dem Nutzen der Centralisierung des Betriebes, noch in der fast gänzlichen Vermeidung von Erdstromerscheinungen, welche gerade bei ausgedehnten Bahnnetzen und bei beträchtlicher Länge der Bahnen, sowie bei entfernten Bahnendpunkten ganz besonders in die Erscheinung treten. Bis heute sind solche Bahnanlagen noch spärlich, jedoch ist die Zeit herangekommen, diesen Gesichtspunkt bei der Projektierung wohl zu beachten.

Mit der fortschreitenden elektrischen Beleuchtung hat sich auch die ältere Gasbeleuchtung bemüht, in der Vervollkommnung gleichen Schritt zu halten, sodass sich die Elektrizitätswerke in dem Gas eine scharfe Konkurrenz grossgezogen haben. Das Gebiet der elektrischen Kraftverteilung, besonders für Bahnzwecke, kann indes niemals durch Gasanstalten bewältigt oder überhaupt nur erreicht werden und darum darf man denjenigen Elektrizitätswerken eine grössere Zukunft vorhersagen, welche ihr Arbeitsgebiet auf den konkurrenzlosen Elekromotor ausgedehnt haben. Die grösste Anwendung des Elektromotors mit allen seinen guten Eigenschaften ist die für Transportzwecke, und zwar lediglich deshalb, weil die zeitweise Mehrleistung, z. B. beim Anfahren des Wagens, bei grossen Steigungen und bei mehreren Anhängewagen, nicht von einem grösseren Gewicht oder unrationellerer Ausnutzung des Motors begleitet wird. Der Elektromotor schmiegt sich den wechselnden Zugkräften und Leistungen sozusagen von selbst an, leistet ohne Schaden momentan 50 bis 100% mehr und vermeidet Unzuträglichkeiten, welche andere Betriebskräfte mit sich gebracht haben.

Bei sehr grossen Bahnanlagen mit intensivem Verkehr kann man von einer Ersparnis bei kombiniertem Stromerzeugungswerk kaum sprechen. Man begeht alsdann keinen Fehler, wenn man ganz davon absieht und sich nur reine Verhältnisse schafft. Ein besonders charakteristisches und modernes Bild eines reinen Bahnkraftwerkes zeigt Fig. 19 in der Kraftstation der Leipziger elektrischen Strassenbahn.



Schiemann, Bahnen. 2. Aufl.



ig. 19.

Verlag von Oskar Leiner in Leipzig.

Es ist hier auf kleinstem Platze die grösstmöglichste Ausnutzung geboten, da das Werk mitten in der Stadt liegt. Schöpfer dieser Anlage ist die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft zu Berlin.

10. Die stationären Akkumulatoren.

Dieselben finden ihrer guten ausgleichenden Eigenschaft wegen beim direkten Bahnbetrieb Anwendung. Der Gedanke, dass Akkumulatoren sich für diesen Zweck besonders eignen, soll zuerst von dem verstorbenen Ingenieur Reckenzaun ausgesprochen worden sein, und zwar in einer Diskussion in der Institution of Civil Engineers im Jahre 1892.

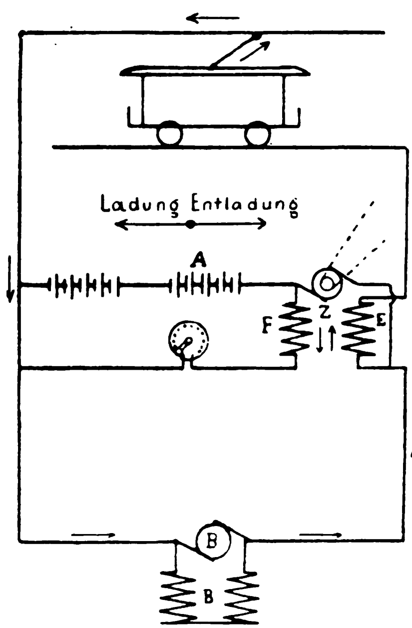


Fig. 20.

Wenn man in Betracht zieht, dass die Schwankungen der stationären Maschinen zwischen der Null- und Maximalleistung oftmals innerhalb einer Minute erfolgen, wenn man andererseits in Rücksicht zieht, dass der Betrieb innerhalb gewisser Tagesstunden schwach ist (morgens, abends, nachts), wobei die Maschinenleistung für einen grösseren Verbrauch eingerichtet sein muss, so kann man sich wohl denken, dass ein wirtschaftlicher Vorteil bei der Anwendung stationärer Akkumulatorenbatterien möglich sein muss, wenn zu den Zeiten schwachen Verkehrs die überschüssige Dampfmaschinenleistung in einem stromsammelnden Reservoir aufgespeichert werden kann. Die hierzu tauglichen Batterien dienen zugleich dazu, die momentane wechselnde Belastung der Stromlieferung auszugleichen, ähnlich wie Windkessel an Pumpen, indem bei plötzlicher schwacher Belastung der Strecke die an der normal arbeitenden Dampfmaschine zur Verfügung stehende überschüssige Energie von der Batterie selbstthätig aufgenommen und bei plötzlich grösserer als normaler Beanspruchung der Strecke wieder selbstthätig abgegeben wird. Aus dieser Thätigkeit hat man den Batterien den Namen

Pufferbatterien gegeben. Die Kohlenersparnis infolge der gleichmässigen Maschinenbelastung beträgt alsdann 25—30% bei Anlagen, deren Grösse für Anwendung solcher Pufferbatterien geeignet ist. Eine Anordnung zu diesem Zwecke wird durch eine der Firma Siemens & Halske-Berlin patentierte Einrichtung erläutert, deren auszugsweise Beschreibung hier folgt. (Fig. 20.) Anwendung hat diese Schaltungsweise in Remscheid gefunden.

Zu dem angegebenen Zweck wird parallel zu den Betriebsmaschinen B eine Sammelbatterie A geschaltet, in deren Stromzweig eine Zusatzmaschine Z eingefügt ist. Die Schenkel E und F der letzteren werden durch den schwankenden Betriebsstrom und durch einen von der Sammelbatterie allein abgezweigten Strom so erregt, dass beide Erregerströme einander entgegenwirken, d. h. dass beim Anwachsen des Betriebsstromes die elektromotorische Kraft der Zusatzmaschine in dem einen Sinne, bei der Abnahme des Betriebsstromes dagegen im anderen Sinne beeinflusst wird, so dass bei Veränderungen des Betriebsstromes sofort selbstthätig eine entsprechende grössere oder geringere Beanspruchung der Sammelbatterie bewirkt wird. Bei der Durchführung dieses Verfahrens kann sich leicht der Übelstand ergeben, dass der Raum, welcher zur Aufnahme der Schenkelwickelung der Zusatzmaschine erforderlich wird, so gross ausfällt, dass die ganze Zusatzmaschine mit Rücksicht auf diesen Umstand erheblich grösser angenommen werden muss, als es der auf sie entfallenden Leistung entsprechen würde.

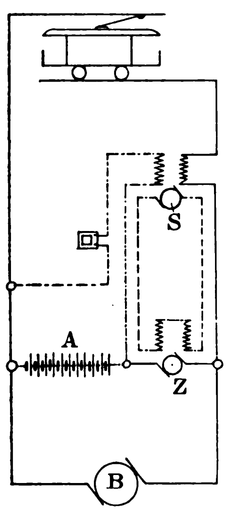


Fig. 21.

Dieser Schwierigkeit wird dadurch begegnet, dass für die Erregung der Zusatzmaschine eine besondere Erregermaschine aufgestellt wird, deren Schenkel nach der im Hauptpatent angegebenen Vorschrift geschaltet werden.

Fig. 21 stellt schematisch die abgeänderte Schaltung, S stellt die besondere Erregermaschine dar. Eine Anlage nach ähnlichem System ist die elektrische Bahn Zürich-Hirslanden, näher beschrieben in der ETZ 1894, S. 356 ff., bei welcher aber ein Zellenschalter zur Spannungsregulierung der Pufferbatterie benutzt wird.

Es ist sicherlich nicht als ein Vorteil zu bezeichnen, dass komplizierte Schaltungen und gar Zellenschalter angewandt werden müssen, um bei Ladung und Entladung in engen Spannungsgrenzen bleiben zu können. Die theoretische Betrachtung dieser

Frage weist aber darauf hin, mit höherer Spannung zu laden und mit niederer Spannung zu entladen, da jede Zelle im Ladezustande 2,4 Volt braucht, im Entladezustande aber nur 1,9 Volt herausgiebt. Die Praxis hat nun diese Anschauung widerlegt, denn die bereits erwähnte Anlage in Hirslanden arbeitet seit Jahresfrist mit unmittelbarer Parallelschaltung der Batterie zu der Betriebsmaschine ohne jedwede Spannungsregulierung. Nur für das täglich einmal stattzufindende Aufladen der Batterie, behufs Erhaltung derselben in gutem Zustande, bleibt noch eine spannungserhöhende Vorrichtung (Zusatzdynamo, Zellenschalter, Dreireihenschalter) erforderlich.

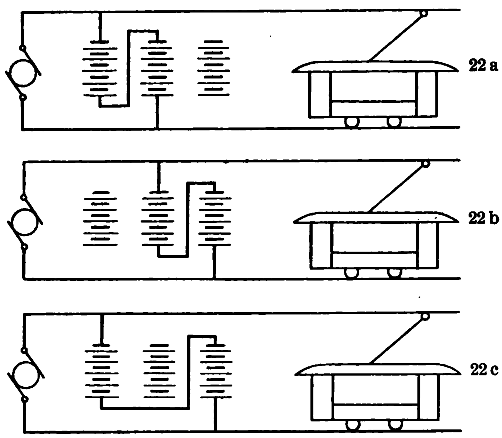


Fig. 22.

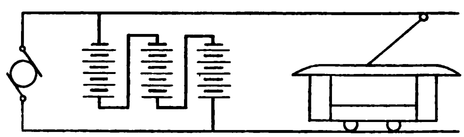


Fig. 23.

Der Dreireihenschalter wird durch Fig. 22a, b, c in den drei nacheinander vorzunehmenden Ladeschaltungen dargestellt, während Fig. 23 die Entladeschaltungen zeigt. Jede der drei Batteriereihen enthält 91 Zellen, um für die aufgeladene Batterie die Betriebsspannung von ca. 520 Volt zu erzielen.

Die Akkumulatorenfabrik Aktiengesellschaft Hagen i. W., welche die grösste Erfahrung im Bau von Bahnpufferbatterien zur Zeit besitzt, hat durch einen Vortrag ihres Oberingenieurs Schröder (ab-

gedruckt in der ETZ 1896, Heft 53) über die im Betrieb befindlichen Batterien berichtet. Die Vorgänge im Akkumulator beim schnellen Laden und Entladen begünstigen hiernach die Vereinfachung, mit den höheren Lagen der Betriebsspannung die Batterie direkt zu laden und bei den niederen dieselbe wieder direkt ins Netz zurückarbeiten zu lassen. Das für die Pufferung ausgenutzte Stück der Lade- und Entladekurve passt sich momentan den Schwankungen der Betriebsspannung an und gleicht die sonst bei kleinen Bahnnetzen beobachteten spitzen Kurven zu schwach und allmählich schwingenden Wellenkurven ab.

Von genannter Firma und deren im Auslande befindlichen Filialen wurden bisher an Pufferbatterien ausgeführt in Deutschland: Meckenbeuren-Tettnang, normalspurige Nebenbahn; Remscheid, elektrische Strassenbahn; in der Schweiz: städtische Strassenbahn Zürich-Hirslanden in Zürich; Centrale Zürichbergbahn in Zürich; Société électrique Vevey-Montreux in Montreux; Tramcentrale St. Gallen in St. Gallen; elektrische Strassenbahn Altstätten-Berneck; Tramgesellschaft Neuchâtel-St. Blaise; Tramcentrale Zürich-Oerlikon-Seebach; in Italien: Rom, elektrische Strassenbahn.

In der Anlage Meckenbeuren-Tettnang reichte nach Vergrösserung des Betriebes die ursprünglich vorgesehene Betriebskraft nicht mehr aus, um zwei Züge bergan fahren zu lassen. Nach Aufstellung der Batterie ist dies möglich geworden. Das Gesamtgewicht beider Züge betrug 93 *t*, die Spannung schwankte zwischen 620 und 655 Volt. Das Aufladen der Batterie kann bei dieser Bahnanlage in den Zwischenpausen, welche die beiden Züge dem Betriebe lassen, erfolgen.

In England sind zwei elektrische Bahnen in Betrieb, wobei in einem Fall in der Centrale, im anderen auf der Strecke eine sogenannte Pufferbatterie angewendet wird. In Amerika wurde dieser Gedanke sogar in sehr grossem Massstabe ausgeführt. Die elektrische Bahn in Philadelphia, welche 800 *km* Gleise umfasst, ist mit einer Pufferbatterie von 400 PS ausgerüstet. Über die Betriebsergebnisse dieser Bahnen und insbesondere über den Kohlenverbrauch für das Wagenkilometer ist jedoch bisher nichts veröffentlicht worden.

Ein ausgedehntes grosses Bahnnetz kann diese Ausgleichung gut entbehren, da durch eine grosse Wagenanzahl die wechselnde Beanspruchung in minimalen und rentablen Grenzen sich bewegt. Bedenkt man, dass Batterien teuer sind und an und für sich unökonomisch arbeiten, so wird man, wenn nicht ganz bestimmte Gründe für eine derartige Anlage sprechen, ganz darauf verzichten.

Handelt es sich darum, eine kleine Beleuchtungsanlage mit der Bahn zu verbinden, so liegt nichts näher, als die am Tage zum

Ausgleich der Bahnschwankungen dienende Batterie mit so viel Überschuss an Stromansammlung zu versehen, dass während der Beleuchtungsstunden die Batterie von der Bahn abgeschaltet und zur Stromabgabe für die Beleuchtungsanlage benutzt werden kann.

Wenn eine solche Batterie für eine grosse Entladestromstärke eingerichtet ist, so kann dieselbe zweckmässig auch auf kurze Zeit ein Maschinen-Aggregat ersetzen, wenn z. B. die eine Betriebsmaschine defekt geworden oder heiss gelaufen ist und die Ersatzmaschine noch angewärmt und angelassen werden muss.

Um die grossen Pufferbatterien gänzlich zu vermeiden, hat Mr. S. C. C. Currie (Amerika) folgende Einrichtung angewandt:

Er kuppelt mit der stromerzeugenden Dynamomaschine eine zweite, welche bei geringer Stromstärke im Netz als Dynamo arbeitet und eine Akkumulatorenbatterie ladet, bei grosser Stromstärke im Netz dagegen als Motor läuft und hierfür den benötigten Strom aus der Batterie entnimmt, somit also die Betriebsdynamo mit der Dampfmaschine gemeinschaftlich antreibt. Um diesen Wechsel der Thätigkeit der Zusatzdynamo zu erzielen, konstruierte er diese Maschine als Verbundmaschine und lässt sie ihre Nebenschlusswickelung selbst erregen, während die Hauptstromwickelung von dem Betriebsstrom erregt wird. Nebenschluss- und Hauptstromwickelung erregen das Feld aber in entgegengesetztem Sinne und es entwickeln sich aus dieser Schaltung folgende Vorgänge:

Solange die Netzstromstärke gering ist, überwiegt die Magnetisierung durch die Nebenschlussspule und die Zusatzdynamo läuft als Erzeuger, ladet also die Batterie. Steigt aber die Netzstromstärke über einen gewissen Punkt, so wird das Feld der Zusatzdynamo, also auch ihre Klemmspannung, geschwächt, und bei einem kritischen Punkte der Netzstromstärke überwiegt die Klemmspannung der Batterie diejenige der Zusatzdynamo; die Batterie sendet also Strom in die letztere und treibt sie als Motor, dessen Leistung nunmehr dem jetzt höher beanspruchten Haupterzeuger zugeführt wird.

II. Berechnung der Kraftstation.

Wenn man den ungünstigsten Augenblick des Fahrplanes in Betracht zieht und alsdann die Summe der Leistungen an den Motorwagen addiert, so erhält man die maximale Leistung für die Kraftstation unter Hinzurechnung der Nutzeffekte von Stromleitung und Dynamomaschinen. Bei normaler Beanspruchung bleiben diese Nutzeffekte in bekannten Grenzen, sodass man mit einem bestimmten Zuschlag zu der Gesamtsumme der Wagenleistungen rechnen kann.

Man thut gut, sich für die Wagen eine mittlere Leistung heraus-

zurechnen, was die Geschicklichkeit des projektierenden Ingenieurs für jeden besonderen Fall leicht übersehen wird, wenn die mittlere Geschwindigkeit, die mittlere Steigung und somit ein mittlerer Bremszuschlag bestimmt sind.

Füllt man alsdann eine Tabelle aus, wie sie untenstehend dargestellt ist, so erhält man eine schnelle Übersicht über die Betriebsverhältnisse und die für das Projekt nötigen Unterlagen.

Es ist hierbei zu beachten, dass die Gewichtseinheiten eines Motorwagens die doppelten Kraftleistungen erfordern als die eines Anhängewagens, worüber im Abschnitt, Berechnung der Motorwagen, nähere Angaben gemacht sind.

Zu der Summe der in Bewegung befindlichen Wagen ist es üblich, bei kleinen Anlagen einen Zuschlag von 25 bis 30% zu machen, damit bei vorkommenden Betriebsschwankungen keine Über-

№	Betriebs-Strecke von .... bis	Betriebslänge in *km*	Fahrzeit der Hin- und Rückfrt. in Minut.		Durchschn. Geschwindgk. ausschliessl. d. Streckenaufenthalte in *km*/St.	Verkehrs-Intervalle (Wagenfolge) in Min.	Anzahl der Motorwagen		Anzahl der Akkum.-Wag.		Anzahl der Anhängewag.	
			ohne Endaufenthalt	mit Endaufenthalt			in Bewegung	im Betrieb	in Bewegung	im Betrieb	in Bewegung	im Betrieb

lastungen der Stromerzeuger und Dampfmaschinen eintreten können. Grössere Anlagen würden natürlich den Zuschlag ganz entbehren können.

Die Grösse der zu wählenden Aggregate an Dampfkesseln, Dampfmaschinen und Stromerzeuger ist im Abschnitt 4 näher erläutert worden. Das 100 PS-Aggregat dürfte als das kleinste angesehen werden, welches noch rationell arbeitet. Eine obere Grenze anzugeben, wäre unzeitgemäss, dieselbe dürfte aber für Strassenbahnen bei ca. 500 PS liegen.

Die Erfahrung hat gelehrt, dass schon nach einjährigem Betriebe jede Kraftstation erweitert werden muss, um den wachsenden Bedürfnissen der Bahnanlage genügen zu können. Es ist daher bei Projektierung der Kraftstation von vornherein mit dieser Möglichkeit zu rechnen.

Grösse, ausgedrückt in behördlich genehmigten Plätzen						Gewicht der			Anzahl der Wagenkilometer im Jahre.
Motorwagen		Akkumulator.-Wagen		Anhänge-wagen.		Motor-Wagen	Akkumul.-Wagen	Anhänge-Wagen	
Sitzpl.	Stehpl.	Sitzpl.	Stehpl.	Sitzpl.	Stehpl.				

III.
Stromfortleitung.

Um den in der Kraftstation erzeugten elektrischen Strom wieder in Arbeit umwandeln zu können, muss derselbe den Wagenmotoren zugeführt werden. Dies geschieht durch:

1. besondere Speiseleitungen (Abschnitt 12),
2. oberirdisch geführte Fahrleitungen (Abschnitt 13—17),
3. unterirdisch geführte Fahrleitungen (Abschnitt 18),
4. transportable Stromsammler (Abschnitt 19).

12. Speiseleitungen und Berechnung der Leitungsquerschnitte.

Die Speiseleitungen können sowohl oberirdisch, als auch unterirdisch verlegte sein. Sie gelten als Speiseleitungen bis zu dem Punkte, in welchem sie in den Fahrdraht bezw. in die Fahrschiene einmünden. Ist die Speiseleitung oberirdisch verlegt, so benutzt man zumeist die Masten der Strassenbahn zu deren Befestigung mittels gewöhnlicher Porzellanisolatoren. Es empfiehlt sich, oberirdische Speiseleitungen als blanke zu verlegen, da leichte Isolationsmaterialien, der Luft, Regen, Sonnenschein und Wind ausgesetzt, sehr bald verwittern, alsdann gar keinen Isolationswert mehr besitzen und schädlicher wirken, als blanke Leitungen, bei deren Anlage man von vornherein Rücksicht auf genügenden Abstand von stromableitenden Gegenständen nimmt. Bleiumhüllte isolierte Luftkabel sind ihres Gewichtes und ihres plumpen Aussehens wegen bei dem zierlich zu haltenden Bahngestänge zu vermeiden. Unterirdische Kabel sind als isolierte, eisenbandarmierte Bleikabel vorzusehen, die man eventuell noch in besonderen Eisen- oder Thonkanälen unterbringt, um im Bedarfsfalle weitere Kabel ohne viel Erdarbeiten zu den bereits vorhandenen legen zu können.

Beim Durchgang des Stromes durch einen Leiter wird stets ein Teil der aufgewendeten Energie in Wärme umgewandelt; letztere ist um so grösser, je länger die Leitung, je kleiner ihr Querschnitt, je grösser die Stromstärke und je geringer die Leitungsfähigkeit des

Drahtes bezw. Kabels ist. Während also jede Leitung sich beim Durchgang des elektrischen Stromes mehr oder weniger erwärmt, zeigt sich am Ende der Leitung ein grösserer oder geringerer Abfall der Spannung gegenüber der Klemmenspannung an den Primärdynamomaschinen.

Um nun einerseits schädliche Erhitzungen der Zuleitungen zu vermeiden, andererseits den durch den Spannungsverlust verursachten technischen Schwierigkeiten und wirtschaftlichen Nachteilen zu begegnen, berechnet man den Querschnitt der Leitungen unter Zugrundelegung eines 10prozentigen maximalen Spannungsverlustes. Nur für aussergewöhnliche Fälle darf dieses Maximum überschritten werden, wenn es sich z. B. darum handelt, einen ausnahmsweise grossen Verkehr zu bewältigen, ohne deswegen teure Leitungen verlegen zu wollen. Der alsdann stattfindende Spannungsabfall muss indes noch gestatten, den fahrplanmässigen Betrieb bei entsprechend verringerter Geschwindigkeit aufrecht zu erhalten und die Wagenglühlampen mit genügender Helligkeit leuchten zu lassen. Im allgemeinen wird der nach dem höchsten Spannungsabfall berechnete Querschnitt gegen Stromüberlastung gesichert sein. In vereinzelten Fällen kann es jedoch vorkommen, dass kürzere Leitungsteile mit mehr als zwei Ampère für das Quadratmillimeter belastet sind. Der frei in der Luft hängende und von bewegter Luft umgebene Fahrdraht kann kurze Zeit bis zu vier Ampère für das Quadratmillimeter Stromdurchgang ertragen, bei isolierten Speiseleitungen muss indes geeignete Abhilfe durch Zusatzleitungen vorgesehen werden, da sonst die Isolation leidet.

Der dem maximalen Spannungsverlust entsprechende Querschnitt der Leitung ist in üblicher Weise auf der betreffenden Kurventafel I abzulesen. Auf dieser Tafel bedeuten die horizontalen Linien den Querschnitt der betreffenden Leitung, bezw. den Durchmesser des Drahtes oder Kabels. Die vertikalen Linien geben das Produkt aus Betriebsstromstärke in Ampère und Entfernung der Entnahmestelle des Betriebsstromes in Metern an. Die Strahlen zeigen den Spannungsabfall in Volt. Das Bereich der Tafel genügt für die normal vorkommenden Rechnungen. Bei einem grösseren Rechnungsbereich kann man dieselbe Tafel benutzen, indem man den zu suchenden Wert mit einer Zahl dividiert und späterhin das Resultat mit derselben Zahl wieder multipliziert. Da der Fahrdraht schon aus Festigkeitsgründen nicht unter 30 *qmm* genommen werden kann, ist dies als unterste Querschnittsgrenze angenommen worden. Der geringe Unterschied in der Leitungsfähigkeit des weichen Kupfers einer Speiseleitung und des hartgezogenen Kupferdrahtes bezw. Siliciumbronzedrahtes der Fahrleitung kann hier unberücksichtigt bleiben.

Die für den jeweiligen Spannungsabfall gefundenen Werte sind unter Zugrundelegung des spezifischen Kupferwiderstandes von 0,0185 berechnet nach folgender Formel:

$$E = J \cdot W = J \cdot \frac{0{,}0185 \cdot l}{q},$$

bezw.

$$q = \frac{J \cdot 0{,}0186 \cdot l}{E},$$

worin E = Spannungsabfall in Volt,
J = Stromstärke in Ampère,
l = Länge des Leiters in *m*,
q = Querschnitt des Leiters in *qmm* bedeutet.

Der Betrieb erfordert es oft, dass ein von der Stromerzeugungsstelle weit entfernter Speisepunkt, z. B. an Sonn- und Festtagen, so

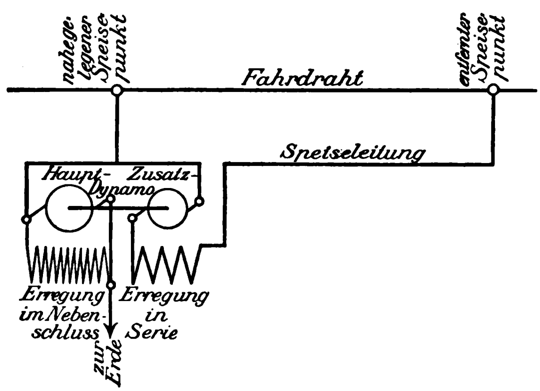
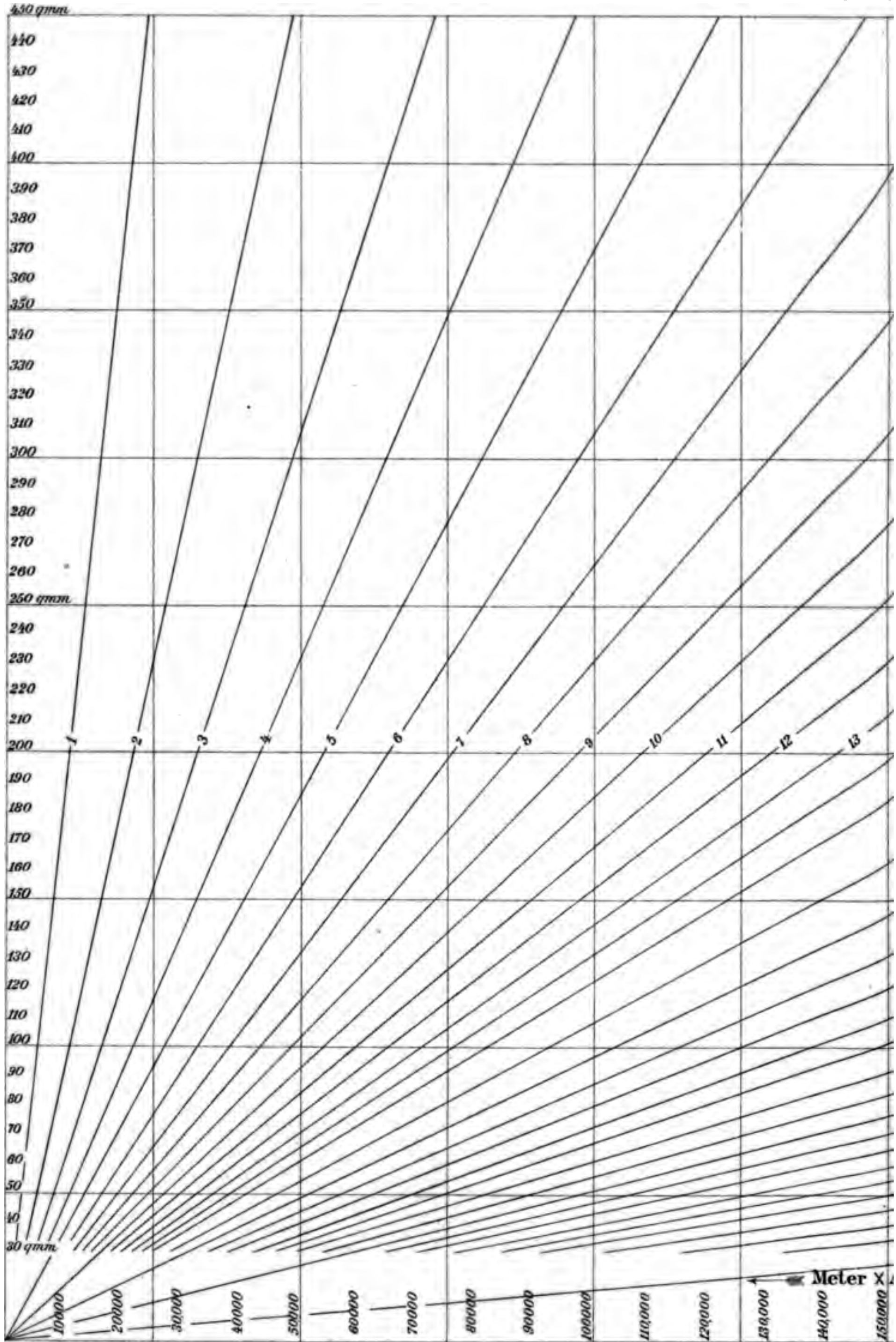
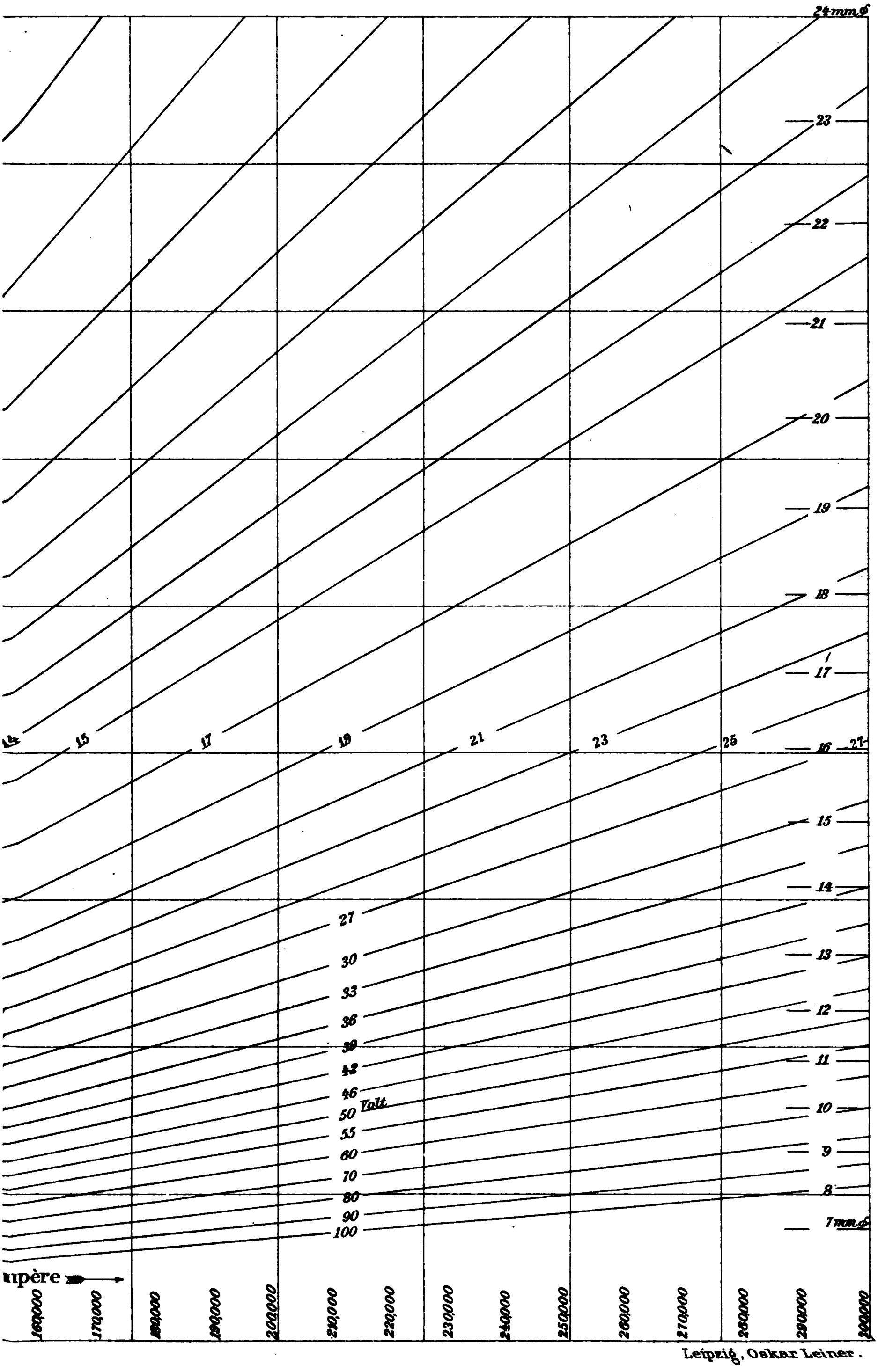


Fig. 24.

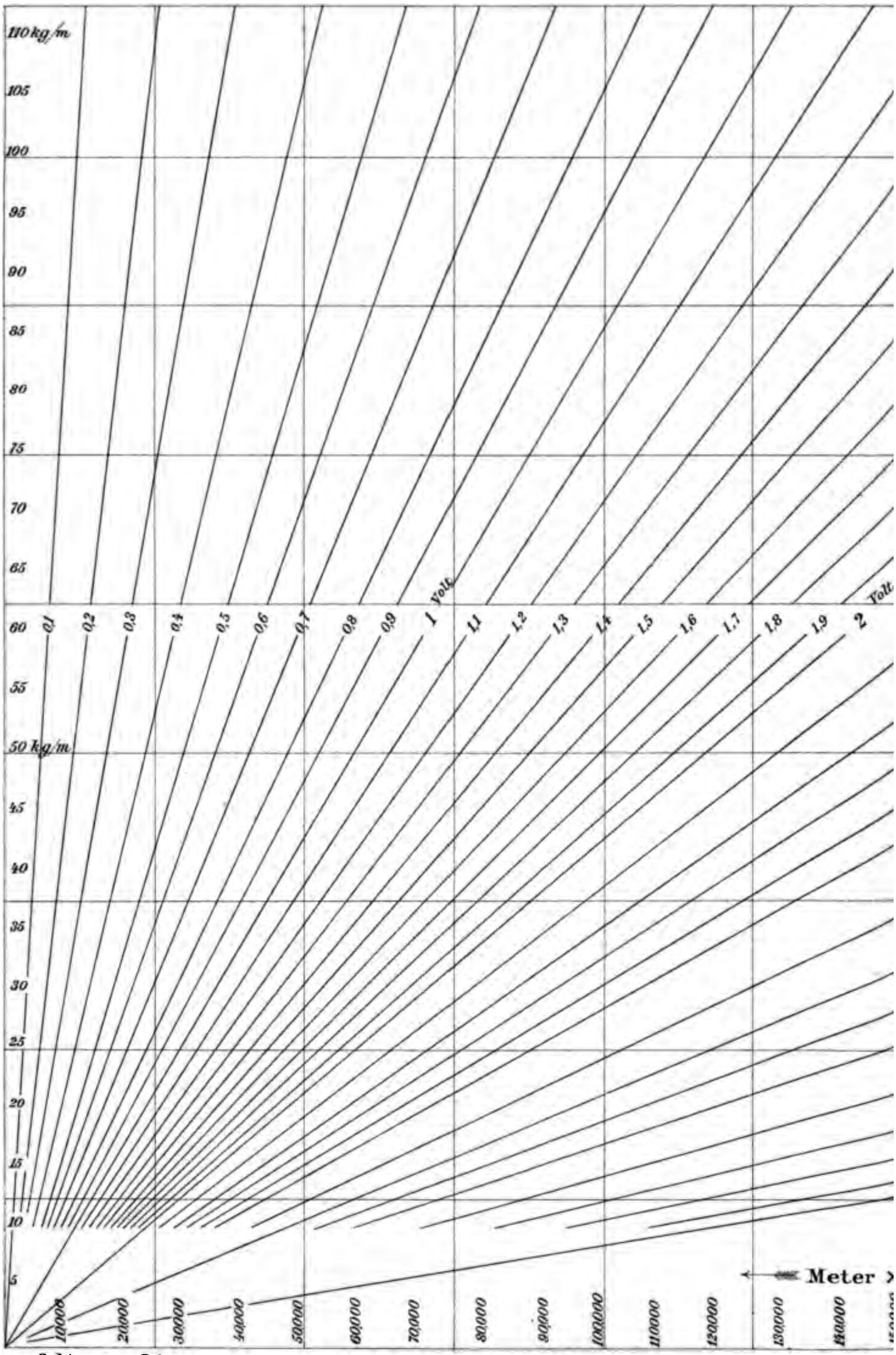
viel Strom erhalten muss, dass die vorhin gegebenen Bedingungen nicht mehr erfüllbar sind, d. h. dass der Spannungsabfall in der Speiseleitung zu gross wird. Speist diese Leitung nur den bezw. die entfernten Punkte des Netzes, so kann man in der Kraftstation eine Seriendynamo aufstellen, die am besten direkt von der Betriebsdampfmaschine u. dergl. angetrieben werden kann, und lässt den Betriebsstrom der Speiseleitung durch diese Dynamo hindurchgehen, welche entsprechend dem, auf der betreffenden Strecke gebrauchten Betriebsstrom die Spannung selbstthätig um so viel erhöht, als sie durch den Widerstand der Leitung abfällt. Die Magnetwickelung der Seriendynamo muss für diese Thätigkeit eingerichtet sein. In Fig. 24 ist die hier zu wählende Anordnung schematisch dargestellt.

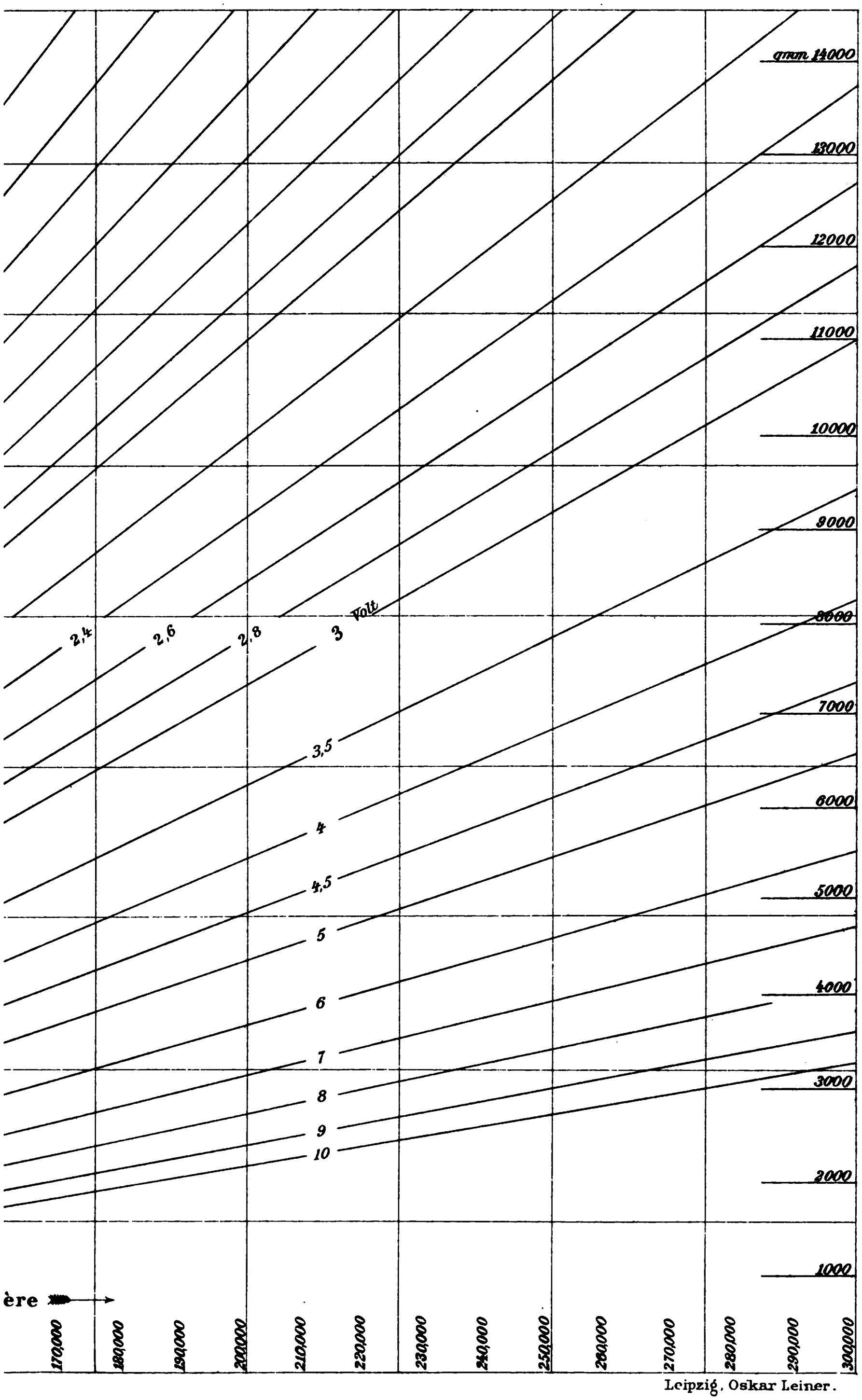

450 qmm
440
430
420
410
400
390
380
370
360
350
340
330
320
310
300
290
280
270
260
250 qmm
240
230
220
210
200
190
180
170
160
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30 qmm
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
Meter ×
10000
20000
30000
40000
50000
60000
70000
80000
90000
100000
110000
120000
130000
140000
150000

I.



Leipzig, Oskar Leiner.


110 kg/m
105
100
95
90
85
80
75
70
65
60
55
50 kg/m
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1 Volt
1,1
1,2
1,3
1,4
1,5
1,6
1,7
1,8
1,9
2 Volt
Meter
10000
20000
30000
40000
50000
60000
70000
80000
90000
100000
110000
120000
130000
140000



Leipzig, Oskar Leiner.

Es wird stets zu erwägen sein, ob der zeitweise Energieverlust in dieser Leitung mit seinem kapitalisierten Betrag unterhalb der Kosten für eine verstärkte Speiseleitung bleibt.

Als eine dem wirtschaftlichen Effekt gleichwertig zu betrachtende Anordnung kann diejenige gelten, welche diese Seriendynamo nicht in der Kraftstation, sondern am Speisepunkt vorsieht. Hier muss alsdann ein besonderer Motor zum Antrieb dienen und erfordert somit Wartung, die bei der ersteren Anordnung ohne Mehrkosten bewerkstelligt werden kann. Das gleiche Speisekabel kann aber auch an vorherliegenden Stellen zur Speisung der Fahrleitung dienen, ohne dass die Betriebsspannung hierfür unnötig hoch wird.

Ist man in der Lage, Drehstrom zur Speisung entfernt liegender Speisepunkte zu verwenden, so wird der hochgespannte Drehstrom an Ort und Stelle mittels rotierender Drehstrom-Gleichstromtransformatoren in die benötigte Gleichstrombetriebsspannung gebracht. Dies bedingt aber ebenfalls besondere Unterstationen, welche erst dann wirtschaftlich sein können, wenn das Sekundärnetz genügend gross ist.

Da die Stromleitung bis zum Wagen auch durch die Laufschienen erfolgt, so ist es erforderlich, den Spannungsabfall auch in diesem Leiter festzustellen und zu dem oben gefundenen Werte hinzu zu addieren. Man muss für diese Berechnung annehmen, dass nur allein die Schiene mit ihren elektrisch gut verbundenen Stössen die unverminderte Stromleitung übernimmt und dass die Erde keine Abzweigungen bietet. Es ist dies freilich für die Bahn der ungünstigste Fall; da sich aber rechnerisch die Leitungsfähigkeit des Erdbodens nicht feststellen lässt, muss man mit diesem ungünstigen Falle rechnen. Die dadurch entstehende Ungenauigkeit ist indes nicht von grosser Bedeutung, was aus der Kurventafel Nr. II zu ersehen ist. Der Leitungswiderstand der Laufschiene ist verschwindend gegen den Widerstand der Kupferleitungen.

Die für die Schienen übliche Bezeichnung erfolgt durch Angabe des Gewichtes in Kilogramm für das laufende Meter Schiene oder Gleis. Da für die Leitungsfähigkeit das Profil der Schiene vollkommen gleichgiltig, dagegen der fortlaufende Querschnitt des stromleitenden Gleises von Wichtigkeit ist, so ist in der folgenden Aufstellung von der Gewichtsbezeichnung ausgegangen worden, unter Weglassung derjenigen Teile, welche zur Befestigung dienen und nichts zur Vergrösserung des leitenden Querschnittes beitragen, wie z. B. Laschen, Schrauben, Spurhalter u. s. w.

1 *cbdm* Eisen wiegt 7,75 *kg*,
1 *kg* Eisen = 0,129 *cbdm*.

Wird 1 *kg* Eisen bezw. Stahl zu einer Schiene von 1 *m* Länge ausgewalzt, so wird deren Querschnitt

$$= \frac{0{,}129}{10} = 0{,}0129\ qdm = 129\ qmm.$$

Der Widerstand dieser Schiene ist demnach

$$W = \frac{c \cdot l}{q} = \frac{0{,}11 \cdot l}{129} = 0{,}000853 \text{ Ohm},$$

d. h. eine Schiene von 1 *kg* Gewicht und 1 *m* Länge hat 0,000853 Ohm Widerstand und bei 1 *km* Länge 0,853 Ohm.

Die für den jeweiligen Spannungsabfall gefundenen Werte sind unter Zugrundelegung des spezifischen Eisenwiderstandes von 0,11 berechnet nach folgender Formel:

$$E = J \cdot W = \frac{J \cdot 0{,}11 \cdot l}{q}$$

worin q den fortlaufenden Eisenquerschnitt bedeutet und $\frac{q}{129}$ das Gewicht der Schiene bezw. des Gleises in Kilogramm angiebt.

Auf der Tafel II bedeuten die Strahlen wieder den Spannungsverlust in Volt. Die horizontalen Linien geben das Gewicht der in Betracht kommenden Schiene in Kilogramm für das Meter, bezw. den fortlaufenden Eisenquerschnitt in Quadratmillimeter an. Die vertikalen Linien bedeuten das Produkt aus Betriebsstromstärke in Ampère und Entfernung der Entnahmestelle des Betriebsstromes in Metern. Das Bereich der Tafel genügt für den grössten vorkommenden Gleisquerschnitt. Die Strombelastung der Schiene findet ihre Grenze an der rationellen Strombelastung der Kupferleitung, darum genügt im allgemeinen das in die Tafel einbezogene Produkt aus Stromstärke und Entfernung für die Berechnung normaler Anlagen.

Um nun die graphische Leitungsberechnung in Einklang mit dem Betriebsfahrplan bringen zu können, empfiehlt es sich, auch diesen graphisch herzustellen und eine geeignete günstige und eine ungünstige Inanspruchnahme durch eine Zeitlinie herauszugreifen. Überträgt man alsdann die Stellung der durch die Zeitlinie erhaltenen Wagen bezw. Züge auf den Höhen- und Lageplan der Bahnanlage, so erhält man für jede Stromentnahmestelle einen geeigneten Wert, der zur Konstruktion der Stromkurve dient.

Ordnet man den graphischen Fahrplan, den Höhenplan und Kurvenband, sowie die Stromkurven untereinander an, so erkennt man, dass das Produkt aus Stromstärke mal Entfernung gleich einem Rechteck ist, welches für jede Stelle des Betriebsplanes leicht herauszugreifen ist. Der Spannungsabfall für die zu berechnende

oder schon angenommene Leitung ist schrittweise festzustellen unter Berücksichtigung der in den Tafeln Nr. I und Nr. II angegebenen Werte.

Der Geschicklichkeit des projektierenden Ingenieurs muss es überlassen bleiben, das Kupfermaterial so zu verteilen, dass niemals zeitweise tote Strecken mit allzu grossen Querschnitten bedacht werden.

13. Das oberirdische Stromzuführungssystem.

Die leider allzu oft angeführten ästhetischen Bedenken gegen das oberirdische Stromzuführungssystem stehen in keinem Verhältnis zu dem, was wir sonst auf der Strasse zu sehen gewohnt sind. Wollte man diesen Bedenken wirklich ein Recht zugestehen, dann müsste man es auch voll und ganz thun, dann müsste man hässliche Firmenschilder von den Häusern schaffen, dürfte man ausschliesslich nur künstlerisch gestaltete Haus-Fassaden zulassen und müsste gesetzlich bestimmen, dass nur gutgekleidete Leute die Strasse benutzen, nur elegante Wagen in den Strassen fahren dürfen. Allen Anfeindungen gegenüber gestaltet sich aber die Entwickelung des oberirdischen Systemes günstig, weil es das billigste und erprobteste ist. Zudem kommt, dass es das natürlichste ist, weil es nach Möglichkeit das uns durch die Natur gegebene Isolationsmittel, die Luft, zur Vermeidung des schädlichen Stromüberganges zwischen den stromführenden Teilen, ausnützt.

Allerdings ist von diesem Gesichtspunkt aus betrachtet die erste praktisch ausgeführte elektrische Bahn in der Berliner Gewerbeausstellung im Jahre 1879 kein Vorbild gewesen, indessen verfolgte man hier in anderer Beziehung einen natürlichen Weg. Man nutzte den vorhandenen Leitungsquerschnitt der Schienen zur Stromleitung aus und da Holz im trockenen Zustande bei niederen Spannungen ein leidlicher Isolator ist, und man andererseits die Querschwellen aus Holz herzustellen gewohnt war, war eine geschlossene Strombahn durch die beiden Schienen gegeben, deren Isolation von einander noch dadurch erhöht wurde, dass der Erdboden in möglichst geringe Berührung mit den eisernen Schienen gebracht war. Da aber trotz aller Vorsicht ein für den Bahnbetrieb nutzloser Stromverbrauch durch Stromübergang zwischen den leitenden Teilen nicht zu verhindern war, so musste dieses sonst äusserst einfache System besseren Konstruktionen Platz machen. Hierzu kommt, dass die Spannungsverhältnisse nach und nach höhere wurden, damit ausgedehntere Betriebe mit technischen und finanziellen Erfolgen betrieben werden konnten, und dass dadurch die Isolationsverhältnisse gesteigert werden mussten. Für die heute üblichen Spannungen von

300—600 Volt wären die Holzschwellen schon verwerfliche Isolationsmittel, so dass diese Stromzuführung für uns nur noch historisches Interesse haben kann. Vielleicht aber ist das Weiterarbeiten an elektrischen Bahnen gerade erst dadurch möglich geworden, dass man die bestehenden Eisenbahnverhältnisse ohne umwälzende Veränderungen auf das neue System übertrug und erst, nachdem der Versuch die Möglichkeit der Ausführung lehrte, daran ging, den einzelnen Bedürfnissen einer elektrischen Bahn Rechnung zu tragen und neue Verhältnisse den alten zugesellte.

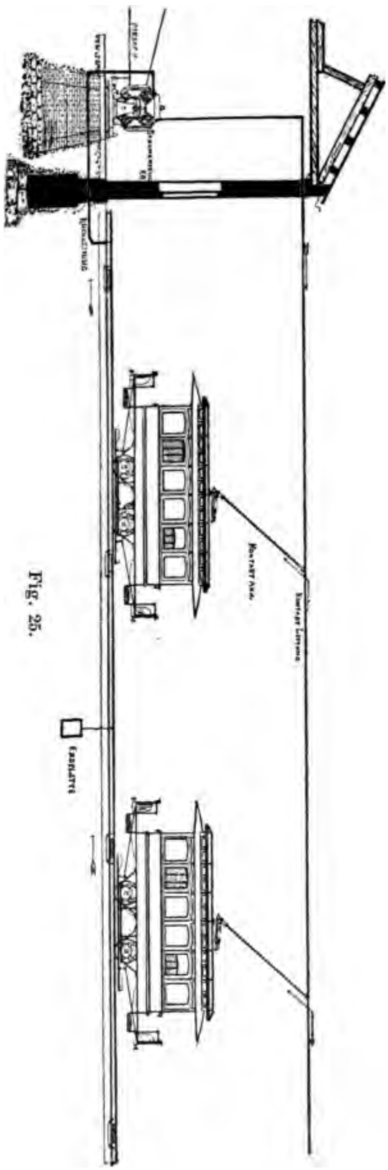


Fig. 25.

In diesem Sinne wurde der zweite Schritt gethan. Man liess für die nächste Ausführungsform den Bahnkörper ohne Veränderung und legte die stromleitenden Teile auf hölzerne Maste besonders. Während man vorher den Eisenquerschnitt der Schienen voll ausnutzte, um für die Stromleitung möglichst geringen Widerstand zu haben, verzichtete man nunmehr vollends auf diese. Es wurden zunächst zwei Drähte an der Seite der Strassen oberirdisch geführt, auf welchen ein Kontaktwagen lief, oder ein Kontaktschlitten glitt, der durch den Motorwagen bewegt wurde und als dieses sich nicht zu bewähren schien, legte man zwei geschlitzte Eisenrohre oberirdisch neben einander und ebenfalls am Rande der Fahrstrasse. In diesen Rohren steckte je ein länglicher Schleifkontakt, der wiederum vom Motorwagen nachgeschleppt wurde. Besonders diese Rohrkonstruktion mit allen ihren Aufhängungsteilen

machte einen durchaus schwerfälligen Eindruck und gewährte nicht für immer die wünschenswerte Betriebssicherheit.

Nach Absolvierung dieser Systeme trat eine förmliche Stockung in dem Bau der elektrischen Bahnen ein. Erst als die Amerikaner die vorhandenen Systeme vereinigten und bedeutend vereinfachten, sahen wir wieder eine Blütezeit vor uns, die in ihrer Fortbildung und Ausgestaltung bis heutigen Tages angehalten hat.

Bei dieser Umgestaltung (1887) war es besonders Sprague, welcher seinen Namen hiermit verband, obgleich er nicht der einzige und erste war, der sich erfolgreich mit dem besseren befasste. Ein Schema dieses neueren Systems oberirdischer Stromzuführung zeigt uns Fig. 25.

a) Der Fahrdraht (Kontaktdraht, Arbeitsdraht).

Der Fahrdraht wird durch einen 5 — 6 *m* über Schienenoberkante zweimal gut isoliert aufgehängten, gut leitenden Draht von hoher Zerreissfestigkeit gebildet. Derselbe hat gewöhnlich runde Querschnittsform, jedoch sind auch Querschnitte folgender Gestalt (Fig. 26) in Vorschlag und vorläufig noch vereinzelt zur Anwendung gekommen. Die Aufhängung des Fahrdrahtes erfolgt in der fortlaufenden Mittellinie des Gleises und zwar so, dass eine Rolle oder gleitender Bügel von unten an den Draht gedrückt werden kann, ohne beim Abrollen oder Dahingleiten durch Vorsprünge im dauernden Kontakt behindert zu werden. Da jede Gleisanlage mit Ausweichen und Abzweigungen versehen ist, folgt man diesen Richtungsänderungen des Gleises beim Fahrdraht durch geeignete, in der Luft hängende Drahtweichen. Mitunter zieht man auch vor, besonders bei eingleisigen Anlagen mit vielen Ausweichungen, den Fahrdraht doppelt zu verlegen und zwar so, dass z. B. der Rollenkontakt in jeder Fahrrichtung den rechten Draht benutzen kann. Man vermeidet alsdann alle Weichen und Drahtverbindungen, muss allerdings das Tragwerk entsprechend verstärken.



Fig. 26.

Als geeigneter Durchmesser für den Fahrdraht hat sich 7 — 8 *mm* eingeführt. Ein schwächerer Draht hält den mechanischen Beanspruchungen nicht genügend Stand, während ein noch stärkerer Draht die Handhabung bei der Montage erschwert und ausserdem ein starkes Tragwerk erfordert.

Die neueren Fabrikationsmethoden haben es ermöglichen lassen, diesen hartgezogenen Kupferdraht oder, wie er auch mit kleiner Variation genannt wird, Siliciumbronzedraht, in Adern von 1500 *kg*

kierten Fahrdrahtes die Verhältnisse überschauen und konstruieren, wie sie der Wirklichkeit am ehesten entsprechen. Die Richtung des Zugdrahtes, die günstigste Stellung des Spanners, die Bewegung des Fahrdrahtes bei ungleicher Längsspannung werden durch diese Methode dem Konstrukteur schon auf dem Reissbrett sichtbar. Selbst den Verhältnissen, welchen das Bügelsystem und das Rollensystem bei der Montierung des Tragwerkes Rechnung zu tragen hat, kann entsprochen werden. Der Bügel verlangt bekanntlich in den Kurven eine besonders hohe Straffheit des Fahrdrahtes, während bei der Rolle auf möglichst grosse Peripheriewinkel, d. h. auf sehr viel gleichmässige Abspannung gesehen werden muss. Hieraus folgt, dass die Abspannpunkte ihre durch die Konstruktion bestimmte Lage nicht verändern dürfen, was bei nicht ganz sachgemässer Beurteilung leicht eintreten kann, wenn die bei der Montage auftretenden verschiedenen Drahtspannungen auf das in der Luft hängende Drahtnetz einwirken.

Wenn es gilt, komplizierte Drahtnetze auf Plätzen, Weichen und Gleiseinmündungen zu projektieren und dabei Stützpunkte (Maste) und unschöne Tragdrähte nach Möglichkeit zu vermeiden, d. h. also, wenn es gilt Fahrdrähte gegeneinander so abzuspannen, dass dem Wagenkontakt bei einem Minimum von Drahtnetz jeder Zeit eine sichere Berührung gewährleistet wird, bietet diese Art der Projektierung die günstigsten Verhältnisse.

b) Das Tragwerk.

Der Fahrdraht wird in seiner Höhenlage durch Querdrähte, die über die Strasse, bezw. über den Bahnkörper gespannt werden, oder durch Ausleger, die an besonderen Masten befestigt sind, festgehalten. Querdrähte finden mit Vorteil überall da Anwendung, wo die Bahn in der Mitte einer noch für anderes Gefährt benutzbaren Strasse liegen muss. In diesem Falle werden an den Strassenrändern eiserne oder hölzerne Masten aufgestellt, und je nachdem die Umgebung es erfordert, werden diese Masten in einfacher oder dekorativer Weise ausgeführt. In diesen Gegenständen kann ein grosser Luxus getrieben und verlangt werden, und wenn man bedenkt, dass alle 30—40 *m* ein bezw. zwei Masten Verwendung finden müssen, so wird erklärlich, dass die Anlagekosten einer Bahn bei teuren Masten ganz wesentlich gesteigert werden. Die verschiedensten Formen der Masten zu beschreiben, dürfte zu weit führen, es sei daher nur bemerkt, dass der Mast ca. 6 *m* über der Erde und ca. 2 *m* unterirdisch, also zusammen ca. 8 *m* lang sein muss und dass unter den gewöhnlichen Verhältnissen an der obersten Spitze des Mastes durch das Stromzuführungshängewerk eine Zugspannung von 200—500 *kg*,

in Ausnahmefällen auch bis zu 1000 *kg*, auftritt. Es ist nicht zu leugnen, dass den sehr einseitigen Beanspruchungen ein Gittermast nach Fig. 27 am besten widersteht. Verlangt indessen das Auge ein mehr dekoratives Aussehen des Mastes, so findet der Rundmast in den verschiedensten Ausführungen und Verzierungen geeignete Anwendung. Die Fig. 28 und 29 stellen die Rundmasten dar, wie dieselben in Dresden aufgestellt sind.

Aber auch der billige Holzmast hat mitunter wegen seiner Isolierfähigkeit eine Berechtigung bei der Verwendung für oberirdische Leitungsträger. Der einzige Mangel, welcher dem Holzmaste anhaftet, ist, dass derselbe an seinem, in der Erde befindlichen Teile verfault. Das Imprägnierverfahren mittels Kupfervitriol schützt zwar

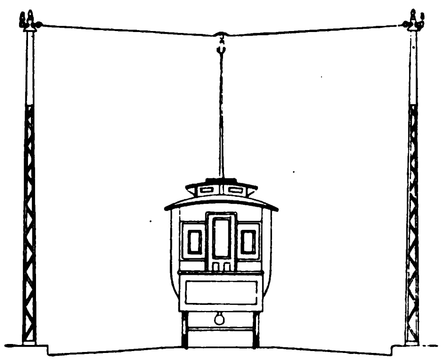


Fig. 27.

den oberen, der Luft ausgesetzten Teil des Holzmastes sehr gut, verlängert aber die Haltbarkeit im feuchten Erdboden nicht. Besonders kalkhaltiger Boden greift das Holz in wenigen Jahren soweit an, dass der Mast ausgewechselt werden muss. Rechnet man, im günstigen Falle, dass ein Holzmast 10 Jahre aushält und durchschnittlich 10 Mark kostet, so würden bei 50jähriger Konzessionsdauer einer Bahn 5 Maste à 10 Mark = 50 Mark aufzustellen sein. Rechnet man für Aufstellen, Auswechseln u. s. f. jedesmal 7—8 Mark, so kostet während 50 Jahren ein Mast 85—90 Mark, wofür derselbe Mast in Eisen gut und gern her- und aufzustellen ist. — Man sieht also, dass unter den gewohnten Verhältnissen der Holzmast keinen pekuniären Vorteil bietet. Es ist daher das Bestreben auf eine bessere Konservierung des unteren Teiles des Holzmastes zu richten.

In dieser Beziehung erscheint das eigenartige Verfahren des Baumeisters Fischer in Rawitsch beachtenswert. Der in der Erde

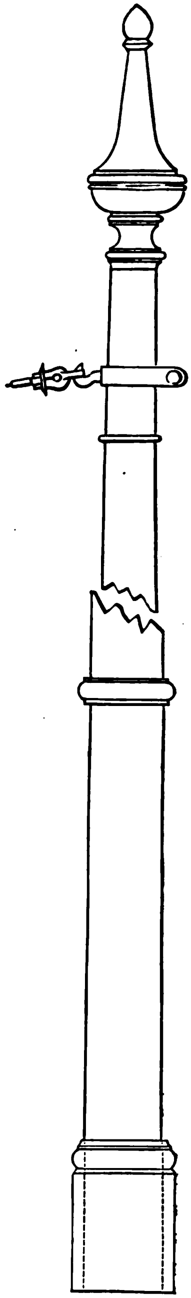


Fig. 28.



Fig. 29.

sitzende, vor Fäulnis zu schützende Teil des Holzpfahles wird mit einer Umhüllung von sogenannter Faltenpappe umgeben. Diese Faltenpappe besitzt unverziehbare schwalbenschwanzförmige Falten, siehe Fig. 30. Die Falten kommen in ihrer Längsrichtung senkrecht zu stehen, Fig. 31. Die entstehenden Hohlräume werden mit antiseptischen Stoffen, wie Weisskalk, Lehm, Kupfer-, Zink- oder Quecksilbersalz ausgegossen. Weisskalk scheint in besonderem Masse zu diesen Konservierungszwecken geeignet zu sein. Der Imprägnierung mittels Kupfervitriol gegenüber bietet das angegebene Verfahren, sowohl was Billigkeit als auch Schnelligkeit in der Ausführung und Wirksamkeit anbetrifft, entschiedene Vorzüge.

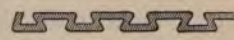


Fig. 30.

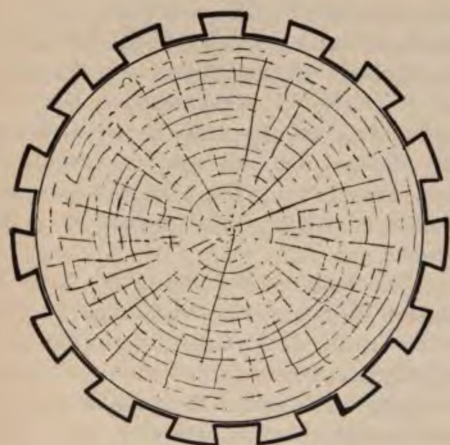


Fig. 31.

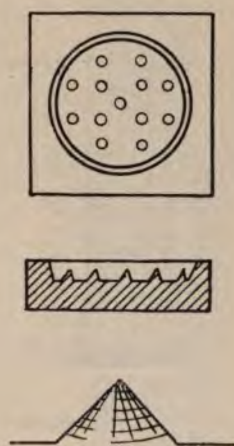


Fig. 32.

Der Sauerstoff der Luft, Sonnenschein und Wind genügen bei gutem Holze vollständig, um auch ohne Imprägnierung des oberen Pfahlteiles eine Fäulnis des an der Luft befindlichen Holzes zu verhindern. Um hierin einen sicheren Erfolg zu erreichen, ist es allerdings notwendig, in der Wahl des Holzes vorsichtig zu sein und nur solche Hölzer zu verwenden, welche im Dezember und Januar gefällt sind, da diese an Festigkeit, Dauerhaftigkeit und Dichtigkeit den zu anderen Jahreszeiten gefällten Hölzern bei weitem überlegen sind.

Bei Ausführung des Fischer'schen Verfahrens ist am unteren Teile des Mastes folgendes zu beachten. Zur Erzielung möglichster Haltbarkeit dient als Fundament ein viereckiger, etwa 28 *qcm* grosser,

8—10 *cm* starker Formstein (Hartbrandziegel), Fig. 32, mit kreisrunder, 4 *cm* tiefer beckenartiger Einsenkung, welch letztere schon vor dem Einbringen der Stange mit Imprägnierstoff gefüllt werden kann. Zweckmässig wird es sein, bei der Form für den Ziegel ca. 1 *cm* hohe kegelförmige Ansätze vorzusehen, da der Stange hierdurch ein fester Stand gesichert ist.

Das untere Ende der Stange wird bis zu einer Höhe von 20—25 *cm* über dem Erdboden mit der patentierten Faltenpappe, welche in einer Breite von 1 *m* hergestellt wird, benagelt, Fig. 33. Am Zusammenstoss ist die Pappe über und in einander zu legen, so dass die obere, höher liegende Pappe trichterförmig in der unteren Papplage steckt. Der Zusammenstoss wird mit Cement oder Lehm abgedichtet. Ferner sollen zur Erhöhung der Wirkung in verschiedener Höhe angebrachte, schräg nach unten und nach dem Kerne der Stange zu verlaufende Bohrlöcher vor dem Einbringen der Stange mit dem Imprägnierstoffe gefüllt werden.

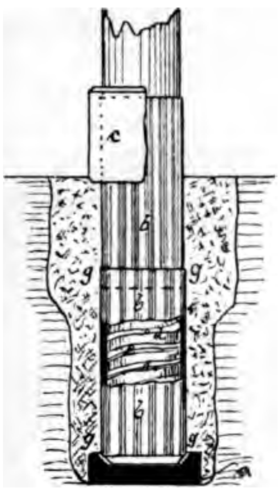


Fig. 33.

a) Formstein, Hartbrandziegel.
b) Faltenpappe.
c) Cementverputz.
d) Bohrlöcher.
e) spiralförmig laufende dreieckige Rinne.
f) Imprägnierstoff (Kalkmilch).
g) Abdichtungen mit Lehm oder Cement.

Zur besseren Verteilung des nach erfolgtem Feststampfen der Stange im Erdboden in die Hohlräume einzugiessenden Imprägnierstoffes, für welchen, wie schon erwähnt, Kalkbrei bezw. Kalkmilch am zweckmässigsten erachtet wird, ist an der Stange eine spiralförmig laufende, dreieckige Rinne anzubringen bezw. einzureissen. Dies geschieht schnell und leicht mit einem sogenannten Geisfuss, indem zwei Arbeiter die Stange bei wagerechter Lage drehen. Zum Schutze der über die Oberfläche reichenden Pappe gegen direkte Beschädigung durch Stösse, sowie zum Schutze der Pappe gegen Aussaugung durch Sonne und Luft ist rund um die Stange sockelbildend ein Cementverputz anzubringen. Durch diesen erhält die Pappe über der Erde eine ebenso unbegrenzte Dauer, wie die Pappe, welche unter der feuchten Erde luftdicht eingeschlossen liegt.

Der Preis der Faltenpappe, besonders für den in Rede stehenden Zweck hergestellt, beträgt 1 Mark für das Quadratmeter.

Erforderlich sind:

1. an Pappe für einen Mast, 1,07 *qm*	1,07 Mark,
2. an Kalkmilch zum Einguss inkl. Verlust durch Verschütten, rund 4 *l*	0,03 »
3. an Pappnägeln	0,03 »
4. 1 Formziegel	0,10 »
5. 1 Cementsockel, komplett, 30 *cm* hoch, 5 *cm* unter Erde reichend, $3^1/_2$ *cm* stark	0,20 »
	1,43 Mark.

Die Herstellungskosten für einen Mast sind also bedeutend billiger als bei der Präparierung mit Kupfervitriol. Zu erwähnen ist noch, dass sämtliche Arbeiten für die beschriebene Konservierung auch ausserhalb der Verwendungsstelle vorgenommen werden können, obgleich es empfehlenswerter bleibt, an Ort und Stelle zu verfahren.

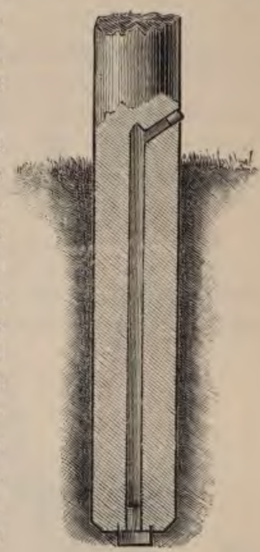


Fig. 34.

Mit kurzen Worten sei auch des Liebau'schen Verfahrens zur Imprägnierung von in der Erde steckenden Hölzern gedacht. Hierbei wird derjenige Teil des Pfahles, der von der Erde umfasst und beeinflusst wird, mit einem durch Fig. 34 angedeuteten Mittelloch versehen, welches gestattet, das äusserst intensiv wirkende Kreosotöl von Zeit zu Zeit nachzufüllen und dadurch eine vollständige Durchtränkung des am meisten des Schutzes bedürftigen Pfahlstückes zu erreichen. Auch dieses Verfahren ist äusserst billig, es ist jedoch bei rissigem Holze nicht anwendbar, da alsdann das Öl durch die mit der Zeit entstehenden Risse durchläuft.

Für die Aufstellung der Maste ist die Regel zu beachten, dieselben gegen Zug, d. h. am oberen Ende z. B. 50 *mm* nach hinten zu setzen, damit nach Aufbringung der Spanndrähte die Durchbiegung des Mastes nach vorn nicht das Gefühl erweckt, als würde der Mast überlastet sein.

Wenn es möglich ist, die Aufhängungsstützpunkte für das Hänge- und Spannwerk an vorhandenen Mauerwerken anzubringen, so hat diese Befestigungsart ausser der Billigkeit der Anlage den grossen Vorteil einer absolut festen Lage. Natürlich ist vorauszusetzen, dass die Mauern geeignet sind, eine Zugspannung von 200—500 *kg* ohne Schaden auszuhalten, was nicht immer der

Fall ist. Fig. 35 zeigt eine Anordnung mittels Wandhakenbefestigung.

In diesem Ausführungsfalle wird man mittels geeigneter Isolatoren, welche durch Rosetten verziert werden können, an die feste

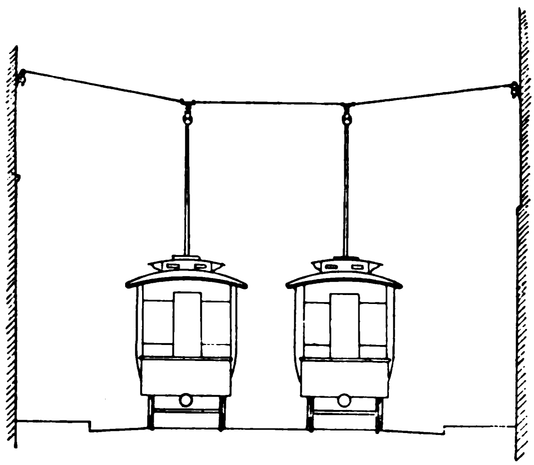


Fig. 35.

Wand gehen, um die Quer- und Spanndrähte aufzuhängen. Die vorhandenen Konstruktionen weichen auch hier von einander prinzipiell ab. Bei der durch Fig. 36 dargestellten Form befindet sich die Isolation an der Hausrosette selbst, ohne dass Konstruktion und Aussehen darunter leiden. Eine zweite Art wird durch Fig. 37 dargestellt. Hier ist der feste Teil nur ein Mauerhaken, bei dem eventuelle Mauerbeschädigungen durch eine einfache Rosette verdeckt werden. Die Isolation gehört hier mit zu den leicht abnehmbaren Teilen.



Fig. 36.

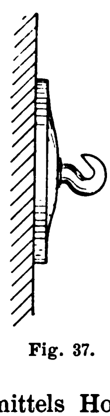


Fig. 37.

Die Befestigung in der Wand geschieht in der üblichen Weise und zwar, wenn die Wand aus Holz ist, mittels Holzschrauben, in Ziegel oder Stein mittels einzugipsender Steinschrauben. Eine besonders gute Wand-

befestigung ist die durch die Patentkeilverschraubung bekannt gewordene.

Es wird hierbei mit einem gezahnten Schlag- oder Steinbohrer, wie ihn Fig. 38 darstellt, ein Loch so tief in das Mauerwerk geschlagen, dass die Keilverschraubung bis zum Sechskantbund in die



Fig. 38.

Mauer eingeschoben werden kann. Durch vorsichtige Handhabung ist es ermöglicht, den am Mauerwerk befindlichen Cement- oder Kalkputz bis auf ein rundes Loch von ca. 25—30 *mm* Durchmesser vollständig tadellos zu erhalten. In Holz wird mit einem Centrum- oder Schneckenbohrer ein entsprechendes Loch gleich dem Durch-

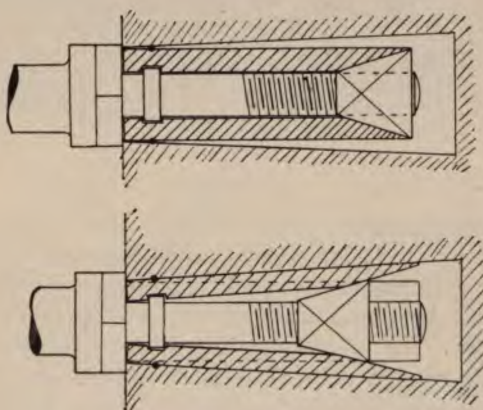


Fig. 39.

messer der Verschraubung gebohrt. Nachdem die Verschraubung, dargestellt durch Fig. 39, in das cylindrische oder nach innen etwas konisch erweiterte Loch eingesetzt ist, wird der Sechskant so lange mit der Hand oder mit dem Maulschlüssel nach rechts herumgedreht, bis derselbe festsitzt. Dadurch, dass die konische Mutter die vier Seitenteile nach aussen drückt, kann ein der Festigkeit entsprechender Druck auf die Wandungen des Loches ausgeübt werden, so dass

selbst bei cylindrischer Fläche ein Ausreissen der Keilverschraubung unmöglich wird. Sofort nach Befestigung in der geschilderten Weise kann der Querdraht für die elektrische Leitungsanlage gespannt werden, da kein Cement, Gips u. s. w. für die Befestigung erforderlich ist und somit nicht auf das Trocknen desselben gewartet zu werden braucht.

Ein einigermassen geübter Arbeiter, muss unter den schwierigsten Verhältnissen in höchstens 5 Minuten einen derartigen Befestigungshaken für eine Hausrosette oder einen Hausisolator einsetzen können und besteht hierin ein grosser Vorteil gegen das Einsetzen unter

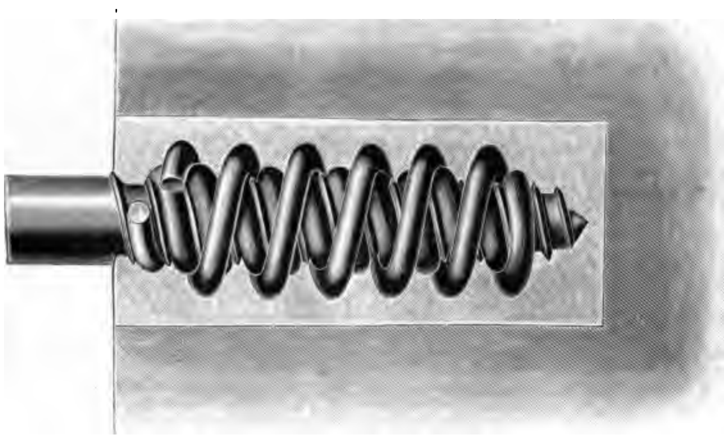


Fig. 40.

Verwendung von Cement, Gips u. s. w. Ein weiterer Vorteil liegt auch darin, dass die Isolatorstütze mit Patent-Keilverschraubung bei Änderung der Aufhängungsstelle leicht durch Zurückdrehen entfernt und anderweitig benutzt werden kann, ohne dass die Mauer u. s. w. beschädigt wird. Es dürfte in der Regel genügen, das zurückbleibende Loch mit einem Korken oder Holzpflock zu dichten.

Eine ebenfalls einfache und gute Befestigung von Mauerschrauben stellt der Böddinghaus'sche Spiraldübel dar, welchen Fig. 40 zeigt.

Hier wird um den Gewindegang der Mauerschraube ein verzinkter Eisendraht gewickelt und in entgegengesetzter Windung nochmals zurückgewickelt. Die so auf einer geeigneten Drehbank hergestellte Drahtmutter wird mit samt der Schraube in das mit Gips oder Cement frisch ausgefüllte Mauerloch gedrückt und verbleibt bis zum Erstarren der Bindemasse darin. Alsdann kann die Schraube beliebig heraus- und hineingedreht werden, während der spiralige Draht ein metallisches Muttergewinde in der Mauer bildet.

Ein Übelstand jeder einfachen Hausbefestigung besteht darin, dass die Vibrationen des Fahrdrahtes sich auf die Wand mitunter in unangenehmer Weise übertragen. Hiergegen sind schalldämpfende Konstruktionen im Querdraht in Anwendung gekommen, welche weiter hinten beschrieben werden.

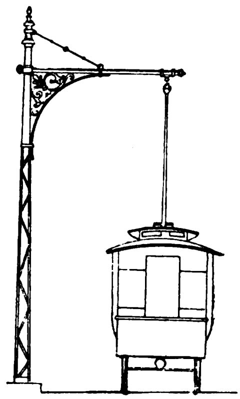


Fig. 41.

Gestattet die Führung des Gleises eine Aufstellung des Mastes dicht neben demselben, so dass der Mast das Normalladeprofil der betreffenden Bahnanlage berühren kann, so wendet man mit Vorteil sogenannte Ausleger an, deren schematische Darstellung in Fig. 41 erfolgt. Es ist bei derartigen Anordnungen ein besonderes Augenmerk darauf zu richten, dass durch etwa entstehende Zugkräfte in Richtung des Fahrdrahtes eine Tordierung des Auslegermastes vermieden wird, was durch Verankerungen des äussersten Auslegerpunktes am nächstfolgenden Maste geschieht. Vergl. Fig. 42 A = Fahrdraht, S = Spanndraht.

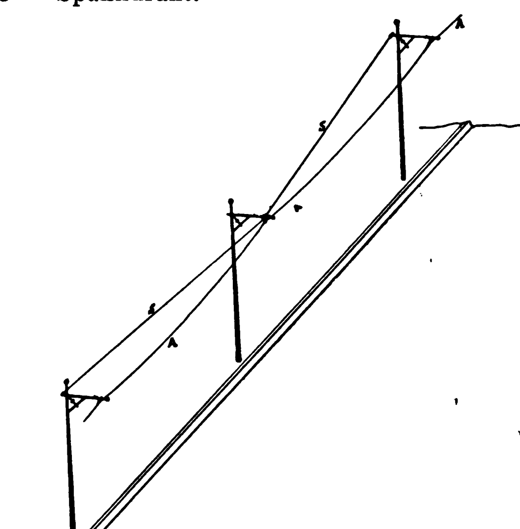


Fig. 42.

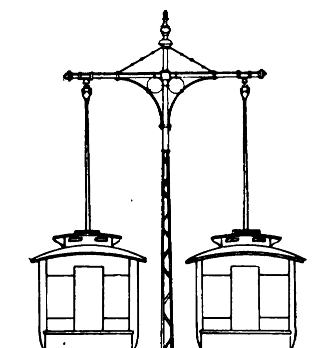


Fig. 43.

Gestattet die Bahntrace die Aufstellung eines Mastes zwischen zwei Gleisen, so findet auch der Doppelauslegermast Verwendung. Fig. 43 zeigt denselben ebenfalls schematisch. Es ist ohne weiteres

verständlich, dass gerade diese Aufstellungsart die beste Gelegenheit bietet, architektonische Formen und elektrische Strassenbeleuchtung mit der Bahnanlage zu verbinden. Fig. 44.

Diese Doppelauslegermasten können mitten in die Strasse gesetzt werden, da dieselben stets durch ein Doppelgleis bedingt sind, mit-



Fig. 44.

hin also die Strasse genügend breit sein muss, um für weiteres Fuhrwerk noch Platz zu geben. Durch diese Mastenreihe wird die Strasse in zwei Längshälften geteilt, was für die Regelung selbst eines intensiven Fuhrwerksverkehrs keineswegs hinderlich ist. Auf

wenig belebten Strassen, z. B. Chausseen, bedarf es erst keiner Erwägung, wenn man hierbei in Betracht zieht, dass durch diese höchst sympathische Konstruktion das oberirdische Drahtnetz auf das denkbar kleinste Minimum vermindert wird. Den Befürchtungen,

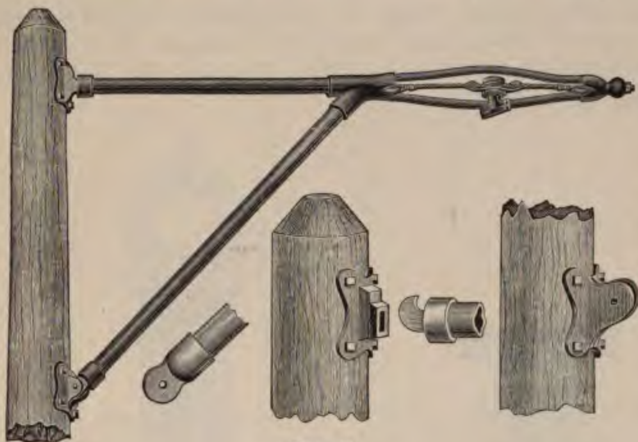


Fig. 45.

dass die Masten in der Strassenmitte durch den anderen Verkehr gefährdet werden, begegnet man durch Anlage von Steinpodesten, die zum Teil für Haltestellen benutzt werden.

Man ist mit Rücksicht auf ein ruhiges Rollen und Gleiten des Wagenkontaktes bemüht, den Fahrdraht in vertikaler Richtung mög-

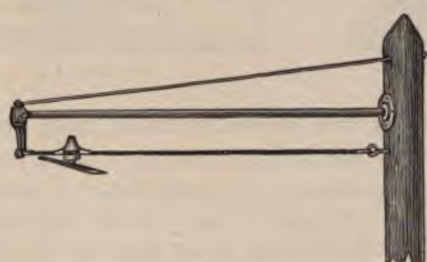


Fig. 46.

lichst elastisch aufzuhängen. Bei Querdrähten ist diese Elastizität von vornherein durch die Konstruktion selbst gegeben, bei Auslegern erstrebt man diesen Zustand durch besondere Konstruktionen, von denen in Fig. 45 und 46 einige recht charakteristische Formen dargestellt sind. Bei Fig. 45 wird in einen aus eisernen Rohren zu-

sammengesteckten Ausleger ein doppeltes Bogenstück eingesetzt, innerhalb welchem ein kurzer Querdraht eingespannt ist. Bei diesen Anordnungen können die für gewöhnliche Querdrähte gebrauchten Hänger eingebaut werden. Die Detailkonstruktionen zeigen die eigentümliche Befestigung des Auslegers an einem Holzmast. Fig. 47 zeigt eine Hängekonstruktion für gewöhnliche starre Ausleger aus Winkel- oder U-Eisen, an welche die Hänger flach angeschraubt werden, während Fig. 48 denselben Hänger, am Rohrausleger zu befestigen, darstellt.

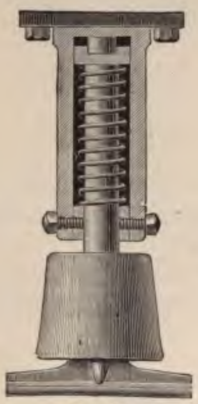


Fig. 47.

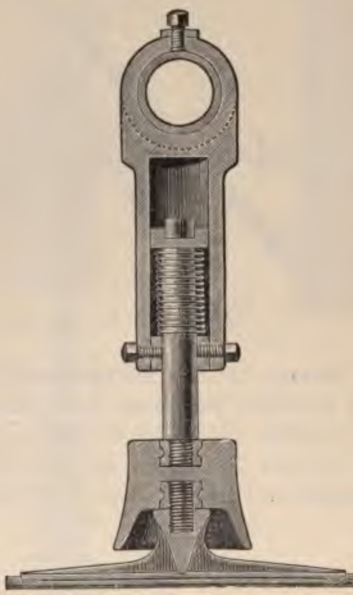


Fig. 48.

c) Die Verankerung und Kurvenverspannung des Fahrdrahtes.

Die Verankerung des Fahrdrahtes ist überall da nötig, wo ein Wechsel in der Zugrichtung des gespannten Drahtes eintritt, und sie ist überall da erwünscht, wo durch Zufälligkeiten grössere Beanspruchungen in dem Draht selbst und in den Aufhängungskonstruktionen entstehen könnten, als es der normalen Beanspruchung und Festigkeit der Materialien und Konstruktionen entspricht.

Die diesbezüglichen Forderungen lassen sich kurz in Folgendem zusammenfassen:

Eine Verankerung des Fahrdrahtes ist überall da anzubringen, wo ein bedeutender Zug in der Richtung des Drahtes selbst auftritt, d. h. also in sämtlichen Kurven, tangential am Kurvenanfangspunkt

angreifend und am nächsten Mast oder dem nächsten Wandarm endigend, und bei sämtlichen Gefällen, am Gefällswechselpunkt angreifend und am nächsten Aufhängungspunkt endigend. Eine Verankerung in gerader und horizontaler Strecke nach beiden Richtungen ist ausserdem bei langen Strecken wünschenswert.

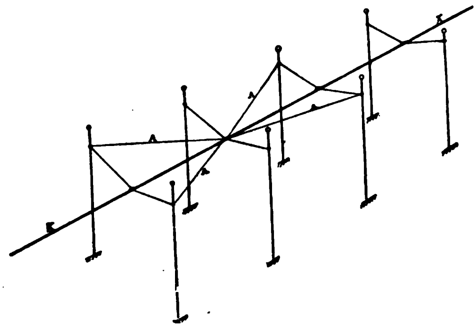


Fig. 49.

Während die erste Forderung dadurch gerechtfertigt wird, dass bei regelrechtem Betriebe die ständige Horizontalkomponente des Drahtes zu gross ist, um die reine Klemmbefestigung des Hängers als genügend erachten zu können, kommt die zweite als wünschens-

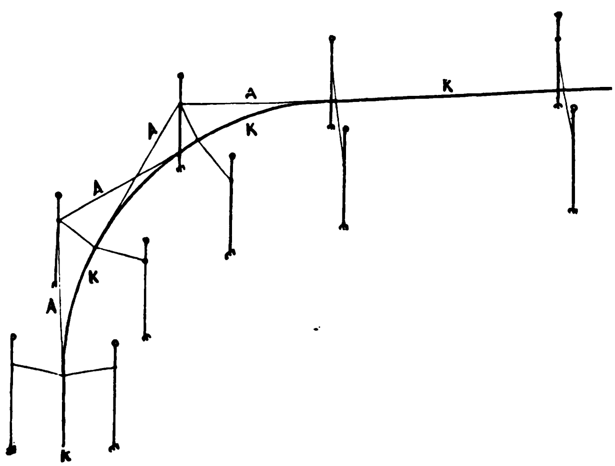


Fig. 50.

wert ausgedrückte Forderung erst zur Geltung, wenn eine Betriebsstörung durch Reissen des Fahrdrahtes zu verzeichnen ist. In diesem Falle hört die Horizontalspannung gänzlich auf, und es müsste

der Hänger bezw. die Klemmvorrichtung, welche beide nur für die Vertikalkomponente gebaut sind, den horizontalen Zug aufnehmen, wenn keine Verankerung vorhanden wäre. Die allgemeine Anordnung der Verankerung wird durch die Fig. 49, 50, 51 und 52 gezeigt, worin mit A die Ankerdrähte bezeichnet sind; K stellt den Fahrdraht dar.

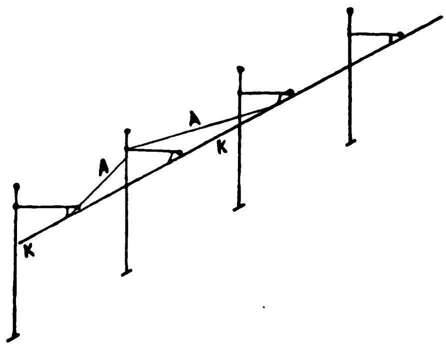


Fig. 51.

Wenn der Fahrdraht um Kurven geführt werden muss, so kann er naturgemäs nicht als konstante Kurve, wie das Gleis gelegt werden, sondern nur als Seilpolygon. Der Fahrkontakt des Wagens muss daher ein seitliches Abweichen des Fahrdrahtes von der Gleismittellinie zulassen. Der Bügelkontakt gestattet eine grössere Abweichung als der Rollenarm. Da aber sowohl die Breite des Bügels

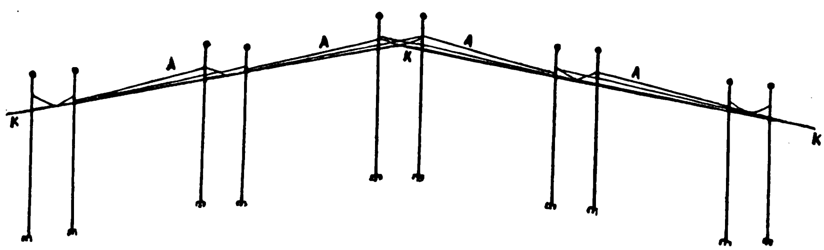


Fig. 52.

als auch die Konstruktion des Rollenarmes und Gelenkes in den verschiedenen Ausführungen anders ausfällt, kann man dementsprechende Polygone zulassen. Eine einfache Formel zur Berechnung der Sehne des Seilpolygons ist für einen Stromabnehmerbügel von mindestens 1,2 *m* Breite, bei welchem ein seitliches Ausweichen des Drahtes von 0,5 *m* nach jeder Seite zulässig sein soll,

$$S = 2\sqrt{2\,r},$$

worin S die Länge der Sehne in Metern und r den Radius der äusseren Kurve in Metern bedeutet. (Fig. 53.)

Radius der Kurve in *m*	Sehnenlänge in *m*	Radius der Kurve in *m*	Sehnenlänge in *m*
12	9,8	60	21,9
15	11,0	80	25,3
20	12,7	100	28,3
25	14,2	120	31,0
30	15,5	150	34,7
40	17,9	180	37,9
50	20,0	200	40,0

Wird r auf die Gleismitte bezogen, so wird $S = 2\sqrt{r}$.

Da in der Geraden die grösste Entfernung zweier Aufhängungspunkte 40 *m* beträgt, ist in vorstehender Tabelle die Sehnenlänge

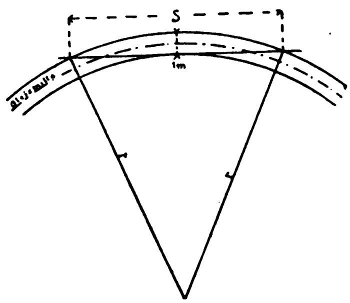


Fig. 53.

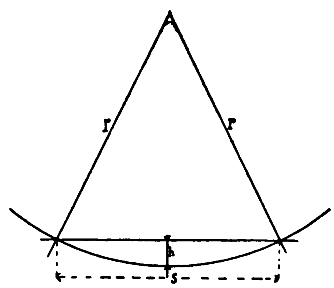


Fig. 54.

nur bis zu 40 *m* berechnet, d. h. mit anderen Worten, bei Anwendung des Bügels ist es nur nötig Kurven, unter 200 *m* Radius mit Abspannung zu versehen.

Anders gestaltet sich das Seilpolygon bei dem Rollenkontakt. Während bei dem Bügel der Peripheriewinkel vollständig ohne Einfluss auf die sichere Führung des Kontaktes ist, ist es dieser bei der Rolle in bedeutendem Masse. Die Rolle bedarf wegen ihrer Flanschen eines verhältnismässig stumpfen Winkels, um ohne Schlag von der einen Sehne zur anderen hinüberzugleiten. Es kommt hier weniger darauf an, dass der Fahrdraht eine günstigste Lage zum Gleis hat, vielmehr darauf, dass die Peripheriewinkel möglichst klein sind, wodurch allerdings sehr viel Abspannpunkte entstehen. In der Praxis hat sich nachfolgende Tabelle gut bewährt. Es bedeutet in Fig. 54 S wieder die Länge der Sehne, h die vorher als konstant

angenommene Ausweichung, R den mittleren Radius der Kurve, sämtliche Masse in Metern:

Radius der Kurve in *m*	h	S	h	S	h	S	h	S
10	0,05	2,0	0,1	—	0,15	—	0,2	—
15	0,05	2,5	0,1	—	0,15	—	0,2	—
20	0,05	2,8	0,1	—	0,15	—	0,2	—
25	0,05	3,2	0,1	—	0,15	—	0,2	—
30	0,05	3,4	0,1	—	0,15	—	0,2	—
40	0,05	4,0	0,1	—	0,15	—	0,2	—
50	0,05	4,5	0,1	6,3	0,15	—	0,2	—
60	0,05	4,9	0,1	6,9	0,15	—	0,2	—
70	0,05	5,3	0,1	7,4	0,15	—	0,2	—
80	0,05	5,7	0,1	8,0	0,15	—	0,2	—
90	0,05	6,0	0,1	8,5	0,15	—	0,2	—
100	0,05	6,4	0,1	8,9	0,15	10,9	0,2	—
150	0,05	7,7	0,1	11,0	0,15	13,4	0,2	—
200	0,05	8,9	0,1	12,7	0,15	15,4	0,2	—
250	0,05	10,0	0,1	14,1	0,15	17,3	0,2	—
300	0,05	10,9	0,1	15,5	0,15	19,0	0,2	—
350	0,05	11,8	0,1	16,7	0,15	20,4	0,2	23,6
400	0,05	12,6	0,1	17,9	0,15	21,8	0,2	25,3
450	0,05	13,4	0,1	19,0	0,15	23,2	0,2	26,8
500	0,05	14,1	0,1	20,0	0,15	24,5	0,2	28,2
1000	0,05	—	0,1	—	0,15	—	0,2	40,0

Beim Vergleich mit der vorhergehenden Tabelle ist ersichtlich, dass die Bügelkonstruktion als Fahrkontakt am Wagen günstigere Verhältnisse schafft, wenn es sich um Verringerung des in der Luft hängenden Drahtnetzes handelt.

Bei einer flachen Kurve empfiehlt es sich, für jeden Peripheriewinkel besondere Spanndrähte S einzufügen. (Fig. 55.) In scharfen Kurven würde durch direkte Spanner die Anzahl der Masten oder Mauerhaken unnötig vermehrt werden müssen, ausserdem würde das Drahtgewirr in der Luft nicht gerade das gute Aussehen günstig beeinflussen. Man wendet daher bei kleineren Kurven mit Vorliebe die sogenannte Gegenkurve an. (Fig. 56.) Man erreicht hierbei ohne weiteres, was man bei direkten Spanndrähten nur durch doppelte Drähte, bezw. einen von Mast zu Mast durchgehenden Abspanndraht für jede Stelle erreichen kann, nämlich die Angriffsrichtung des Spanndrahtes senkrecht bezw. nahezu senkrecht zur Tangente des Kurvenkreises legen zu können. Eine Kurve kann nur dann gut gespannt bleiben, wenn die Klemmbacken für die Spanndrähte sich

seitlich nicht verschieben können, was aber stets dann eintreten wird, wenn der Spanndraht die Klemmbacken in spitzem Winkel auf Ver-

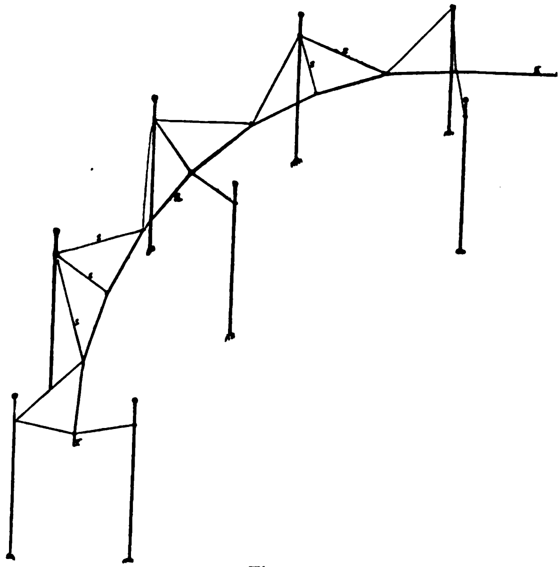


Fig. 55.

schiebung in Richtung des Fahrdrahtes beansprucht. Daher bleibt die Anwendung eines schiefen Spanndrahtes verwerflich.

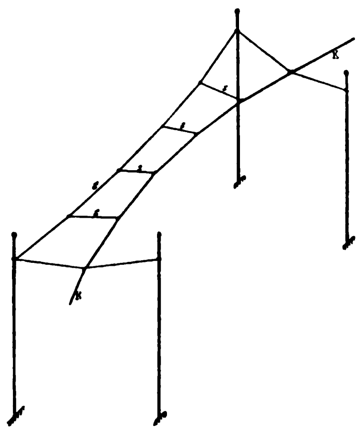


Fig. 56.

Die zur Kurvenspannung eingeschalteten Seilpolygone sollen im allgemeinen nicht als tragende Teile angesehen werden, ebensowenig

die Spanndrähte. Die Träger des Fahrdrahtes, als welche die Querdrähte bezw. Ausleger anzusehen sind, sind in den Kurven, entsprechend der mehr zu tragenden Last, zu vermehren. Je nach der Wölbung des Bügelkontaktes ist die Spannung an sämtlichen Stellen des Fahrdrahtes genügend gross zu halten, da ein schlaff hängender Draht sonst durch die Wölbung seitlich abgedrückt wird.

d) Statik des Tragwerks.

Der Fahrdraht.

Derselbe bildet von Aufhängepunkt zu Aufhängepunkt eine Kettenlinie, bezw. eine angenäherte Parabel. Für die Belastung in dieser Seilkurve ist ausser dem Eigengewicht des Fahrdrahtes das Gewicht von Schnee-, Reif- und Eisbildungen und die Wirkungen des Winddruckes in Betracht zu ziehen. Die Entlastung erfolgt durch den von unten nach oben drückenden Fahrkontakt (Rolle oder Bügel), sodass also die ruhende Last als Maximalbelastung in Rechnung gezogen werden kann.

Bei der Entfernung der Stützpunkte von 40 *m* und darunter und dem sich als praktisch erwiesenen Querschnitt des Fahrdrahtes von 50 *qmm* = ∼ 8 *mm* Durchmesser, sind folgende Verhältnisse massgebend:

Die Zugfestigkeit des hartgezogenen Kupferdrahtes ist 40—45 *kg* für das Quadratmillimeter, mithin $40 \times 50 = 2000$ *kg* bis $45 \times 50 = 2250$ *kg* für den Gesamtquerschnitt.

An den Drahtverbindungsstellen kann die Festigkeit bis auf 35 *kg/qmm* herabsinken. Wird der Fahrdraht an den isolierenden Halter angelötet, was mit Stichflammen, besser mit Lötkolben erfolgt, so sind Festigkeiten von nur 30—26 *kg/qmm* beobachtet worden. Die zulässige Beanspruchung an der Elastizitätsgrenze beträgt 12 bis 14 *kg/qmm*.

Die Leitungsfähigkeit ist 97 % des reinen Kupfers.

Über den Elastizitätsmodulus bei den verschiedenen Temperaturen und Härtegraden, welche sowohl durch die Strombeanspruchungen, als auch durch die mechanischen Einflüsse ständigem Wechsel unterworfen sind, sind sichere Angaben bisher nicht zu erhalten gewesen. Nach Ledebur (Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1896, Nr. 23, S. 637) ist in den üblichen Temperaturgrenzen die veränderte Festigkeit nicht von Belang. Bei 80° C. tritt eine wesentliche Veränderung der Metalle überhaupt nicht ein.

Das Gewicht des Drahtes von 8 *mm* Durchmesser beim spezifischen Gewicht von 8,9 ist für das Meter Länge 0,445 *kg*, hierzu das Gewicht von Schnee, Eis, Reif, Staub, Bügelschmiere mit 0,055 *kg/m* in Rechnung gezogen, so dass das Gesamtgewicht für 1 *m* Draht 0,5 *kg* beträgt.

Da die Spannung im Draht abhängig ist von der Entfernung der Stützpunkte, von dem Eigengewicht des Drahtes bezw. dessen Belastung durch Schnee u. s. w. und von dem zur Zeit gerade herrschenden Durchhang, so ist der Horizontalzug H bezw. der Seilzug, was des praktisch geringen Unterschiedes wegen einander gleich gesetzt werden soll, ausdrückbar durch:

$$H = \frac{w \cdot g}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha},$$

worin w die Spannweite, g das Gewicht des Drahtes bei 1 *m* Länge ist und α der Temperaturwinkel

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2\,a}{\frac{w}{2}} = \frac{4\,a}{w}$$

mithin

$$H = \frac{w^2 \cdot g}{8a} = \frac{40^2 \cdot 0{,}5}{8 \cdot a} = \frac{100}{a} \qquad \text{(Fig. 57.)}$$

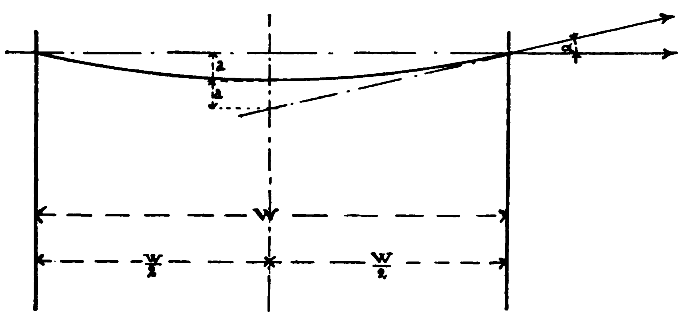


Fig. 57.

Unbekannt ist der Durchhang a; diesen wählt man so, dass bei der grössten Kälte die Elastizitätsgrenze nicht überschritten wird. Mit steigender Temperatur dehnt sich der Draht aus, der Durchhang wird grösser; mit sinkender Temperatur zieht sich der Draht zusammen, der Durchhang wird kleiner, mithin wächst die Seilspannung des Fahrdrahtes im Winter, und es sinkt die Horizontalspannung im Sommer.

Die beobachteten grössten Temperaturschwankungen reichen in unserem europäischen Klima von

$$-20^0 \text{ C. bis } +30^0 \text{ C.},$$

somit darf bei -20^0 C. kein stärkerer Zug auftreten als $50 \times 14 = 700$ *kg*.

Der Durchhang a wird demnach bei 40 *m* Spannweite und — 20° C.,

$$700 = \frac{100}{a},$$

$$a = \frac{1}{7} = 0{,}143\ m = 143\ mm.$$

Der Ausdehnungskoëffizient von Kupfer ist 0,001718 für 0 bis 100° Temperaturerhöhung $\left(\text{d. i. } \frac{1}{582}\right)$.

Der Elastizitätsmodul für hartgezogenes Kupfer ist, auf Quadratmillimeter bezogen, 12100, mithin ist die Kraft, welche den 50 *qmm* starken, hartgezogenen Kupferdraht um seine eigene Länge, d. h. um 100 %, ausdehnt, wenn dies überhaupt möglich wäre, 12100 · 50 = 605000 *kg*.

100° dehnen aber den Draht um 0,001718 seiner Länge aus, 1° um 0,00001718.

Die Vermehrung oder Verminderung der Drahtspannung ist somit für 1° = 605000 · 0,00001718 = 10,4 *kg* = ~ 10 *kg*.

Steigt nun die Temperatur, so wird der Durchhang grösser und es treten bei Abstufungen von 10° zu 10° folgende Seilspannungen H und Durchhänge a auf:

	H	a
— 10° C.	= 600 *kg*	$^1/_6$ *m* = 166 *mm*
∓ 0° C.	= 500 »	$^1/_5$ » = 200 »
+ 10° C.	= 400 »	$^1/_4$ » = 250 »
+ 20° C.	= 300 »	$^1/_3$ » = 333 »
+ 30° C.	= 200 »	$^1/_2$ » = 500 »

Um nun im Sommer den bedingten grossen Durchhang sowohl aus ästhetischen Gründen, als auch aus Gründen für eine sichere Kontaktgebung für den Wagenkontakt, welche bei straff gespanntem Fahrdraht wesentlich günstiger wird, zu vermeiden, versieht man zweckmässig den Fahrdraht mit Nachspannvorrichtungen, wie solche unter Abschnitt 13 f) beschrieben sind.

Die Praxis hat nun allerdings gezeigt, dass beim Übergang vom Sommer zum Winter der Draht nicht derartig nachgespannt werden braucht, wie es den betreffenden Seillängen entspricht; ein Zeichen dafür, dass das allgemeine Gesetz nicht ganz richtig bleibt. Der Draht dehnt sich infolge der Wirkung des reibenden Wagenkontaktes mit der Zeit aus, ohne dass er dadurch seine spezifische Zugfestigkeit einbüssen müsste. Es ist auch nicht ausgeschlossen, dass die

Wärmewirkungen starker Übergangs- und Kurzschlussfunken eine stellenweise Dehnung und ein Ausglühen des Drahtes bewirken. In diesem Falle würde die Festigkeit nachlassen und eventuell zum Bruch führen, wenn nicht die mechanische Beanspruchung dem Drahte allmählich wieder die höhere Festigkeit zurückgiebt.[1])

Der Querdraht.

Derselbe ist ein zumeist verzinkter Stahldraht von 20 *qmm* Querschnitt mit einer spezifischen Festigkeit von 100 *kg/qmm*.

Man vermeidet es, den auftretenden verschiedenen Beanspruchungen entsprechend, verschiedene Drahtquerschnitte anzuwenden, weil die Konstruktionen der Isolatoren, Spanner u. s. w. für ein und denselben Querdraht verwendbar sein müssen. Darum genügt es auch hier, die Verhältnisse nur für den 20 *qmm*-Draht zu berücksichtigen.

Die Elastizitätsgrenze dieses Materials liegt bei 30 *kg/qmm*. Maximalbelastung ist demnach bei diesem Querschnitt 600 *kg*. Der Ausdehnungskoëffizient des Stahles bei den in Frage stehenden Temperaturen für $0-100^0$ ist $0{,}00125 = {}^1/_{800}$.

Der Elastizitätsmodul ist 22000, bezogen auf Quadratmillimeter. Das Eigengewicht des Drahtes beträgt bei einem spezifischen Gewicht von $7{,}86 = 20 \cdot 1000 \cdot 7{,}86 = 0{,}157$ *kg/m*. Das Fremdgewicht für Schnee, Eis, Staub und ungünstigste Windkomponente $= \sim 0{,}013$ *kg/m*. Mithin $g = 0{,}17$ *kg* Gesamtgewicht.

Der Querdraht wird im ungünsigsten Falle mit 2×40 *m* Fahrdraht = 40 *kg* belastet. Hierzu kommt das Gewicht der Isolatoren mit je ca. 2,5 *kg*, sodass die Gesamtbelastung für einen Querdraht 45 *kg* beträgt bei zweigleisiger Strecke und 40 *m* Querdraht-Entfernung.

Da die Beanspruchungen von Fall zu Fall verschiedene sind, werden zunächst die allgemeinen Formeln zusammengestellt und alsdann einer der ungünstigsten Fälle durchgerechnet werden.

Es bedeuten im Nachfolgenden ähnlich den vorherigen Bezeichnungen (Fig. 58):

e = horizontale Entfernung der Stützpunkte in *m*,

m, n = wagerechte Abstände des belasteten Punktes P von den beiden Stützpunkten in *m*,

p = das im Punkte P lotrecht wirkende Gewicht in *kg* $+ \frac{e\,g}{2} =$ (dem halben Eigengewicht des Drahtes),

---

[1]) Über den Durchhang von Freileitungen u. s. w. hat Ingenieur Josef Herzog in der ETZ 1894, Heft 32, Rechnungen und Tabellen veröffentlicht, auf welche hiermit verwiesen sein mag.

s = Seilspannung in *kg*,
g = Gewicht des Querdrahtes in *kg/m*,
a = Durchhang in *m*, gemessen von der Gradlinienverbindungslinie der Stützpunkte,

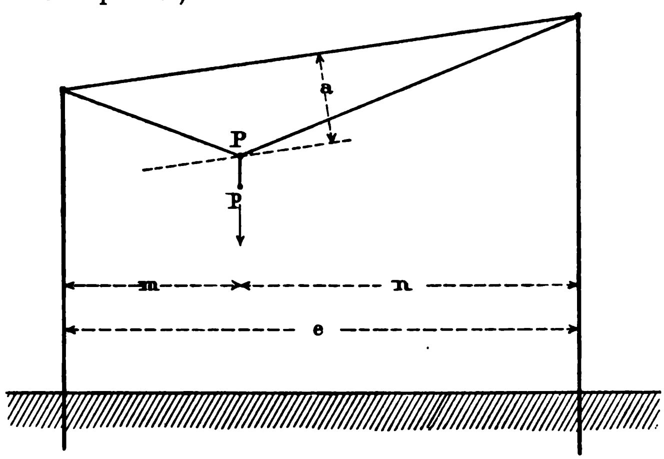


Fig. 58.

$$a = \frac{m \cdot n}{e} \cdot \frac{p}{s} = \text{Durchhang an beliebiger Stelle,}$$

$$a = \frac{e}{4} \cdot \frac{p}{s} = \text{Durchhang in der Mitte, d. h. wenn p in der}$$
Mitte angreift.

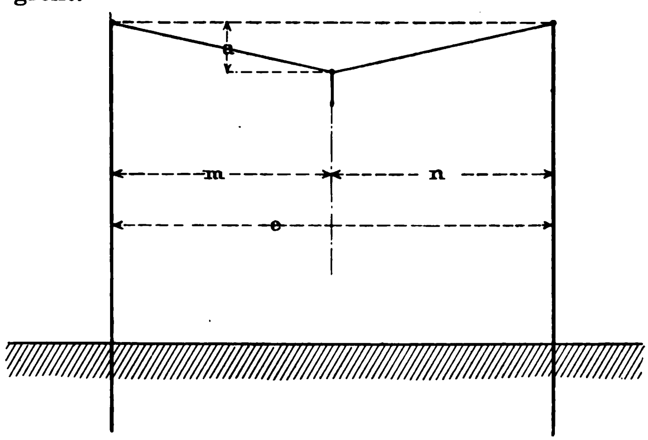


Fig. 59.

Der einfachen Rechnung wegen werde stets angenommen, dass beide Ankerdrähte in der Mitte hängen, bezw. im Punkte P vereinigt sind.

Der Durchhang wird zumeist durch die zur Verfügung stehenden Masse bestimmt. Zwischen Häusern und festen Punkten kann bis zum Gefälle 1 : 25 gespannt werden. Zwischen Masten wird in der Regel mit 1 : 10 zu rechnen sein.

Fall I. Die Stützpunkte seien in gleicher Höhe, die Last p in der Mitte angeordnet (Fig. 59):

$m = n = e/2 =$		10	15	20	25	30	40	50 *m*
Durchhang a bei	1 : 10	1	1,5	2	2,5	3	4	5 *m*
	1 : 20	0,5	0,75	1	1,25	1,5	2	2,5 *m*
	1 : 25	0,4	0,6	[0,8]	[1,0]	[1,2]	[1,4]	[1,6] *m*

Die Seilspannung ist mithin $s = \frac{e}{4} \cdot \frac{p}{a}$; worin $p = 45 + \frac{e\,g}{2}$ $= 45 + 0{,}085\ e$ ist.

Die [eingefassten] Abmessungen und Belastungen sind unzulässig, da hierdurch die Elastizitätsgrenze überschritten wird, und sind nur der Vollständigkeit halber hier mit aufgeführt.

e =	20	20	20	30	30	30	40	40	[40]	50	50	[50]	*m*
a =	1	0,5	0,4	1,5	0,75	0,6	2	1	[0,8]	2,5	1,25	[1,0]	*m*
p =	46,7	46,7	46,7	47,5	47,5	47,5	48,4	48,4	[48,4]	49,25	49,25	[49,25]	*kg*
s =	234	457	585	238	475	595	242	484	[605]	246	493	[615]	*kg*

e =	60	60	[60]	80	80	[80]	100	100	[100]	*m*
a =	3	1,5	[1,2]	4	2	[1,4]	5	2,5	[1,6]	*m*
p =	50,1	50,1	[50,1]	51,8	51,8	[51,8]	23,5	23,5	[53,5]	*kg*
s =	250	500	[625]	260	520	[740]	268	535	[835]	*kg*

Fall II. Die Stützpunkte seien in verschiedener Höhe, die Last p hänge nicht in der Mitte. (Vergl. Fig. 58.)

Sofern nicht grössere Spannweite und die Drahtsteigung zwischen 1 : 10 und 1 : 25 gewählt wird, treten grössere Beanspruchungen nicht auf.

Daher im allgemeinen:

$$s = \frac{m \cdot n}{e} \cdot \frac{p}{a}$$

$$a = \frac{m \cdot n}{e} \cdot \frac{p}{s}.$$

Spanndrähte.

Die Belastung der Spanndrähte setzt sich zusammen aus der Belastung eines Querdrahtes, der nur zum Tragen dient, und der

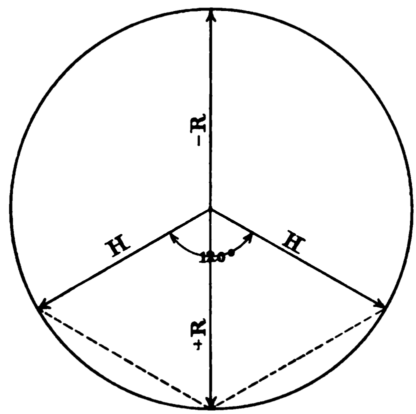


Fig. 60.

eines reinen Abspanndrahtes. Erstere Beanspruchung ist gemäss der vorstehenden Berechnung zu behandeln. Für den seitlichen

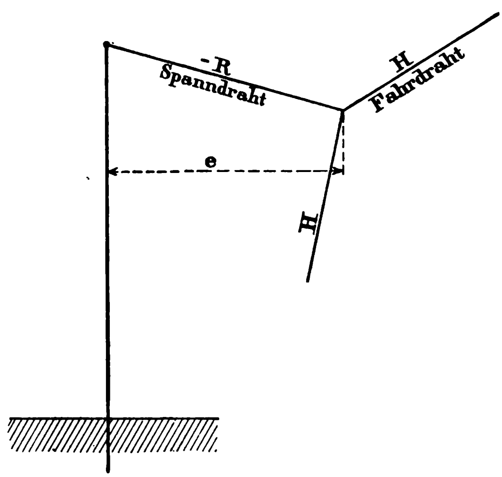


Fig. 61.

Zug diene folgende Betrachtung: Der in der Geraden herrschende Seilzug des Fahrdrahtes überträgt sich auf jeden Spannpunkt mit einem Werte, welcher der Resultante zweier gleichen Zugkräfte ent-

spricht, sofern der Spanndraht diesen Winkel halbiert. Beträgt die Fahrdrahtspannung 600 *kg*, so darf, da die grösste Belastung des 20 *qmm* Spanndrahtes 600 *kg* ist, der kleinste Winkel, den der Fahrdraht am Abspannpunkt bildet, 120° nicht überschreiten, d. h. die Resultante darf nicht grösser als 600 *kg* sein. (Vergl. Fig. 60.)

Mit dieser Maximalbeanspruchung ergiebt sich der Durchhang a des Spanndrahtes bei gleicher Höhe des Spannpunktes und des Stützpunktes:

$$a = \frac{e}{4} \cdot \frac{p}{600}; \quad p = \frac{e\,g}{2}; \text{ mithin}$$

$$a = \frac{e^2 g}{8 \cdot 600} \text{ bei } -20^0 \text{ C.}$$

$$\text{da } g = 0{,}17; \quad a = \frac{e^2 \cdot 0{,}17}{8 \cdot 600} = \mathbf{0.000035\, e^2}.$$

(Vergl. Fig. 61.)

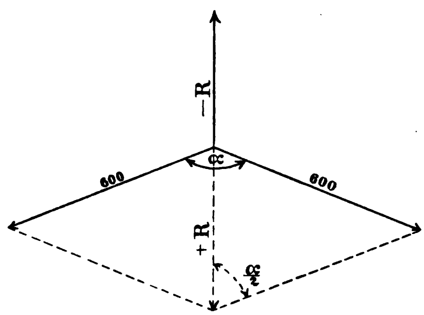


Fig. 62.

Eine tabellarische Zusammenstellung der Zugkräfte bei den Abspann- bezw. Peripheriewinkeln zwischen 180° und 120° folgt. Die Werte gelten für die niedrigste Temperatur von — 20° C. (Fig. 62.)

$$\cos\frac{\alpha}{2} = \frac{R}{2} \cdot \frac{1}{600}$$

$$R = \cos\frac{\alpha}{2} \cdot 1200.$$

α	120	130	140	150	160	170	180	Grad
$\cos\frac{\alpha}{2}$	0,5	0,422	0,342	0,259	0,174	0,087	0,000	
R.	600	505	410	310	208	104	0,0	*kg*

Ankerdrähte.

Dieselben werden in der Horizontalen und in der Geraden nur beim Reissen des Fahrdrahtes beansprucht. In diesem Falle müssen dieselben jedoch den ganzen Horizontalzug aufnehmen. Es werden also, je nach der Art der Verankerung, ein oder zwei Drahtquerschnitte den Zug aufzunehmen haben.

In Kurven und Steigungen übernehmen die Ankerdrähte entweder ganz oder teilweise den Zug im Fahrdraht und sind dementsprechend zu dimensionieren. Das Eigengewicht kann vernachlässigt werden. Die Angriffspunkte am Fahrdraht befinden sich zugleich an den entsprechend konstruierten Aufhängungskonstruktionen, welche von den Querdrähten getragen werden. Je nach Lage der Verankerungen muss die Berechnung der Ankerdrähte analog dem Fahrdraht oder analog dem Querdraht erfolgen, in den meisten Fällen aber wird eine Kombination beider Beanspruchungen in Betracht gezogen werden müssen.[1])

Rosetten.

Die Rosetten an den Häusern sind zumeist für drei Angriffshaken eingerichtet. Es kann somit die Rosette auf Ausreissen be-

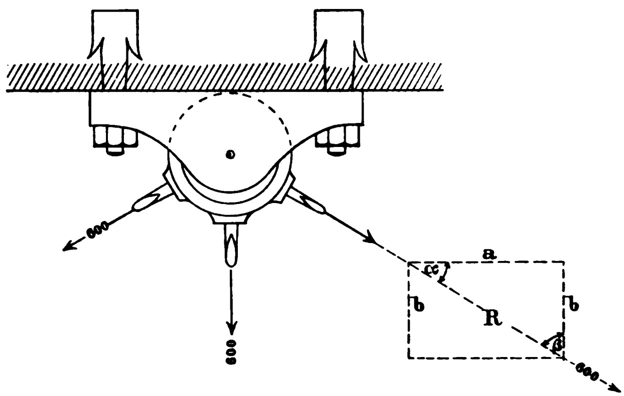


Fig. 63.

anspruncht werden mit: 1 mal 600 *kg* und mit 2 mal einem Teilbetrag von 600 *kg*, je nachdem die Richtung der Spanndrähte wirkt. (Fig. 63.)

$$b = R \cdot \cos\beta = R \cdot \sin\alpha$$
$$b = 600 \cdot \cos\beta = 600 \cdot \sin\alpha$$
$$a = 600 \cdot \cos\alpha = 600 \cdot \sin\beta.$$

[1]) Das englische Gesetz verlangt, dass der Sicherheitsfaktor für alle Trag- und Spanndrähte mit 6 angenommen werden muss.

Die entsprechenden Teilbeträge sind demnach, wenn mit α der Winkel bezeichnet wird, welchen der Spanndraht mit der Mauer einschliesst, und mit β dessen Complimentwinkel:

α	10	20	30	40	50	60	70	80	90	Grad
$\sin\alpha$	0,174	0,342	0,5	0,642	0,766	0,866	0,939	0,985	1,000	
b	105	205	300	385	460	520	563	590	600	*kg*
$\cos\alpha$	0,985	0,939	0,866	0,766	0,643	0,5	0,342	0,174	0,000	
a	590	563	520	460	385	300	205	105	0,00	*kg*

Die Vertikalbelastung der Rosette ist zù gering, um in Rechnung gezogen zu werden.

Maste.

Die Masten zur Befestigung der Querdrähte werden in ihrer Höhe bestimmt durch die Höhe des Fahrdrahtes über Schienenhöhe und durch den Durchhang des Querdrahtes, bezw. bei einem proportional der Länge angenommenen Durchhang durch die Länge des Querdrahtes. Hierzu kommt die Höhe des Fahrdrahtisolators, welche je nach Konstruktion 5—15 *cm* beträgt.

Unter Berücksichtigung der höchsten Temperatur, wobei sowohl Querdraht wie Fahrdraht den grössten Durchhang zeigen, wird man zu 6—7 *m* Höhe des Angriffspunktes über Schienenoberkante gelangen und für diesen Hebelarm ist das Widerstandsmoment des Mastes zu berechnen.

Je nach der Beschaffenheit des Bodens wird man den Mast 1—2 *m* tief in den Erdboden setzen müssen, damit das Biegungsmoment unter der Erde gleich demselben über der Erde ist. In denjenigen Fällen, in denen der Erdboden dem Mastquerschnitt nicht genügend Widerlager bietet, bildet man das in der Erde steckende Mastende an den Stellen m und n (Fig. 64) mit entsprechend grosser Fläche aus, indem man z. B. Wellblechflächen anschraubt. Auch sind Cementsockel üblich.

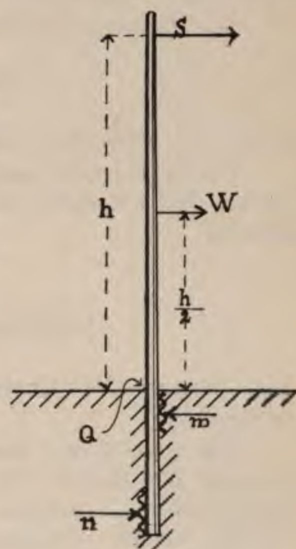


Fig. 64.

Das oberirdische Biegungsmoment setzt sich zusammen aus der Zugspannung des Querdrahtes und aus dem Winddruck auf den Fahrdraht und Isolator, beide angreifend am obersten Ende des Mastes, ferner aus dem Winddruck auf den Mast, angreifend in der Mitte des Mastes.

Die Zugspannung des Querdrahtes ist bekannt; der Winddruck auf den Fahrdraht ist bei 40 *m* der in Betracht kommenden Länge gleich $^2/_3$ derjenigen Kraft, welche auf den Längsquerschnitt des Drahtes wirken würde, wenn der Draht anstatt rund zu sein, eine vertikale Fläche dem horizontalen Winddruck entgegenstellen würde.

Ein orkanförmiger Wind mit einer Geschwindigkeit von 20 *m* in der Sekunde drückt auf ein *qm* Fläche mit $\sim$ 50 *kg*. Dies ergiebt einen Winddruck auf den 8 *mm* Fahrdraht von:

$$^2/_3 \cdot 50 \cdot 40 \cdot 0{,}008 = \sim 10 \; kg.$$

Der Winddruck W auf den Mast selbst ist je nach Durchmesser des Rundmastes wiederum mit $^2/_3$ des auf den projizierten Cylinder entfallenden Winddruckes zu rechnen. Beim Vierkantmast oder Gittermast ist der volle Betrag von 50 *kg* für das Quadratmeter Windfläche einzusetzen. [1])

Das Biegungsmoment ist mithin

$$(S + 10)\, h + W \cdot \frac{h}{2},$$

wofür der gefährliche Querschnitt bei Q berechnet werden muss.

Die in Betracht kommenden Masten sind aus Holz, Eisen oder Stahl, die Querschnitte sind: Kreisfläche mit dem Widerstandsmoment

$$\frac{\pi}{32}\, d^3 = 0{,}0982\, d^3,$$

$$\text{Ringquerschnitt} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D},$$

zusammengesetzte Querschnitte mit entsprechenden Widerstandsmomenten.

Ein wesentlicher Faktor für die Bestimmung von h ist die Entfernung des Mastes von dem Fahrdraht, denn da die Neigung des Querdrahtes im normalen Zustande 1 : 10 bis 1 : 25 ist, so ergiebt sich bei breiten Strassen ein höherer und stärkerer Mast als bei schmalen Strassen.

Fig. 65 zeigt graphisch die Höhe des Angriffspunktes bei beliebigen Spannweiten und bei Steigungen von z. B. 1 : 10, 1 : 15, 1 : 20, wie solche überhaupt vorkommen können. Was von der Mastenhöhe gilt, ist natürlich auch für die Höhe der anzubringenden Rosetten massgebend.

---

[1]) Das englische Gesetz verlangt, dass der Winddruck mit 240 *kg/qm* in Rechnung gezogen wird, d. h. also mit einer fast fünffachen Sicherheit. Belastungen durch Schnee und Eis können dabei ausser Betracht bleiben.

Auslegermast.

Derselbe findet bekanntlich Verwendung, wenn das Gleis dicht an der Strassenkante liegt, d. h. wenn Mitte Gleis nicht mehr als 3 *m* von der Achse des Mastes entfernt ist. In Ausnahmefällen sind auch grössere Auslegermasse, z. B. auch für zweigleisige Strecken, angewandt worden.

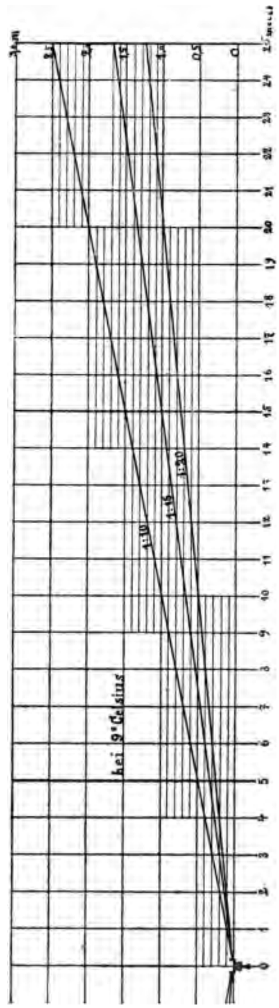


Fig. 65.

Fig. 66. Das Eigengewicht des Auslegers sei P_1 und greift im Schwerpunkt

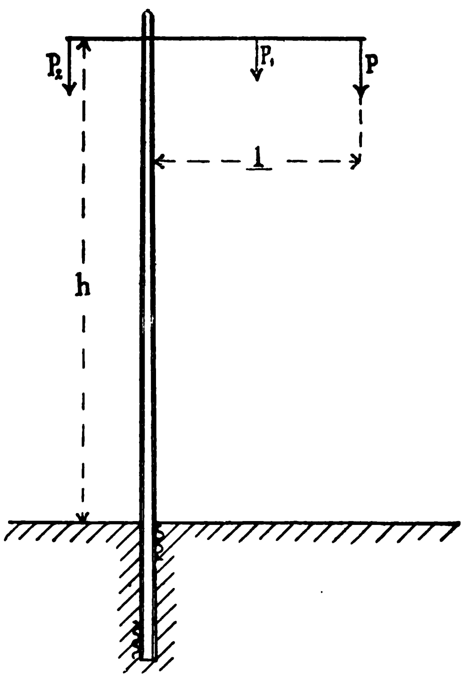


Fig. 66.

des Auslegers an, welcher je nach Form desselben um einen Teilbetrag von l von der Achse des Mastes entfernt ist. Die Momentengleichung zur Berechnung des Auslegers ist somit gegeben. Um die biegende Kraft am Maste zu verringern, bringt man, wenn thunlich, ein Gegengewicht P_2 auf der entgegengesetzten Seite an, welches eventuell durch Speisekabel gebildet wird.

Die Vertikalbelastung des Mastes selbst setzt sich demnach zusammen aus den Gewichten P, P_1, P_2, während die seitliche Beanspruchung gebildet wird aus dem Winddruck auf den Mast und den Draht und aus dem nicht ganz ausgeglichenen Auslegerdrehmoment. Ausserdem ist noch die tordierende Kraft am Hebelarm des Auslegers gebührend in Rechnung zu ziehen. [1])

e) Isolationsmaterial.

Das beim Bau der oberirdischen Leitung Verwendung findende Isolationsmaterial ist im allgemeinen dasselbe, welches auch für Lichtanlagen üblich ist. Okonit, Mikanit, Mika (Glimmer), Porzellan, Glas, paraffiniertes Holz, Gummi, Hartgummi u. dergl. leisten auch hier gute Dienste. Das von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in den Handel gebrachte Stabilit besitzt eine sehr hohe Isolationsfähigkeit und ist bei weitem nicht so hygroskopisch wie Fiber oder mangelhaft durchdrungenes Holz. Es ist äusserst bildsam und bearbeitungsfähig und verträgt eine hohe spezifische Beanspruchung. Die Masse scheint eine unter äusserst hohem Druck zusammengepresste, in Formen gebrannte Gummimasse zu sein. Jedenfalls widersteht das Stabilit den durch die fortwährenden Erschütterungen hervorgebrachten hohen Beanspruchungen.

Ein neueres Isolationsmittel ist auch das Steatit (Friedrich Heller-Nürnberg), eine porzellanähnliche Masse aus gebranntem Speckstein. Dasselbe ist hart, fest und nicht so zerbrechlich wie Porzellan. Es ist gegen Hitze, Kälte, Feuchtigkeit, Säuren, Gase u. s. w. unbedingt beständig und ein sehr guter Isolator, auch wenn es nicht glasiert wird.

Unter den verschiedensten Namen tauchen jährlich mehrere neue Isolationsfabrikate auf, deren Bewährung abgewartet werden muss. Zu dieser Gruppe gehören: Vulkanit-Asbest (E. Ladewig & Co.-Rathenow), Ambroin (Ambroin-Werke Berlin), Eisengummi (Harburger Gummikammfabrik) u. dergl. m.

Mit diesen Isolationsmaterialien wird mehr oder weniger Geheimnisthuerei getrieben und ist es daher dankenswert, wenn z. B. die Firma Max Raphael in Breslau einiges Nähere über die Fabrikation ihres Mikanits veröffentlicht.

Zum Isolieren lassen sich fast sämtliche Sorten Glimmer verwenden, mit alleiniger Ausnahme derjenigen, welche metallische Einlagen enthalten. Die Farbe, welche der Glimmer hat, spielt gar keine Rolle, da die Flecke desselben meistens von Eisenoxyd her-

---

[1]) »Über die Aufhängung der Oberleitung bei elektrischen Bahnen« hat Dr. Gustav Rasch, Karlsruhe, in der ETZ 1897, Heft 27 und 28, eingehende Festigkeitsberechnungen veröffentlicht, welche als wertvolle Ergänzung vorstehenden Inhalts gelten können.

rühren, welches nicht leitend ist. Auch haben die Sprünge, welche im Glimmer vorkommen, sobald sie nicht derartig sind, dass das Glimmerstück dadurch zerfällt, keinen Einfluss. Stücke, in welchen die Sprünge durch die sprungfreien Lagen noch zusammengehalten werden, sind immer noch verwendbar.

Glimmer kommt in der Natur in Grössen von über 20 *cm* Länge im Verhältnis zur Produktion dieses Materials wenig vor und stellt sich daher der Preis für derartige Grössen zu teuer. Um diesen Übelstand im Preise zu heben, hat man in den letzten Jahren vielfach das sogenannte Mikanit in Anwendung gebracht. Mikanit besteht aus gleichmässig dicken, wenn auch in unregelmässigen Grössen gespaltenen Glimmerplatten, die vermittelst einer Schellacklösung geklebt werden, und ist man bei geeigneter Fabrikation imstande, das Mikanit in jeder beliebigen Grösse und Stärke herzustellen. Zu vielen Zwecken ist das Mikanit ebenso gut anwendbar wie Mika, zu anderen Zwecken jedoch wieder nicht, indem die Schellacklösung störend ist. Kleine Grössen von reinem Glimmer, bis zu 12 *cm* Länge, stellen sich in der Regel nicht teurer wie Mikanit und sind dann selbstredend praktischer.

Zu besonderen Zwecken darf man natürlich nur in jeder Beziehung fehlerfreien Glimmer benutzen. Platten von 0,02 *mm* bis 1 *mm* Stärke und darüber lassen sich spalten. Das Material bis zu 0,10 *mm* lässt sich bis zur Glasklarheit spalten.

f) Isolatoren, Verbindungen, Knotenpunkte, Übergänge, Abzweigungen und Nachspannvorrichtungen des Fahrdrahtes.

Das Material für die nun folgenden Konstruktionen soll ausser den Isolationsmaterialien möglichst aus nur einem einzigen Metall bestehen, um zu vermeiden, dass die zwischen verschiedenen Metallen herrschende Spannungsdifferenz Sitz elektromotorischer Kräfte und somit zerstörender Ströme wird.

Man muss bestrebt bleiben, so wenig wie möglich parallel geschaltete Isolatoren zu verwenden, da mit der Anzahl der parallel geschalteten Isolationsstellen der Übergangswiderstand zwischen Fahrdraht und Fahrschiene, d. h. zwischen den beiden Polen der Bahnanlage, abnimmt, der Stromübergang mithin zunimmt.

Das Anklammern des Fahrdrahtes geschieht entweder mittels Schrauben und Klemmbacken, oder mittels Lötung, oder mittels Einlegen in besonders konstruierte Halter. Da man bestrebt ist, den Fahrdraht zwei oder dreimal gut zu isolieren, so ist gewöhnlich der Halter als Isolator ausgebildet (Fig. 67), wodurch man zugleich erreicht, dass der Querdraht stromlos wird.

Die einfachste Methode, den gerade gerichteten Fahrdraht festzuhalten, ist die mittels Klemmbacken. Fig. 68 zeigt das Schema dieses Aufhängungsisolators. K bedeutet den Fahrdraht, Q den Querdraht. Sobald der Draht in seiner Längsrichtung ausgespannt ist, kann er zwischen die Backen geklemmt werden.

Bei der Konstruktion, welche nur Lötung als endgiltige Befestigung vorsieht, muss natürlich beim Spannen des Fahrdrahtes

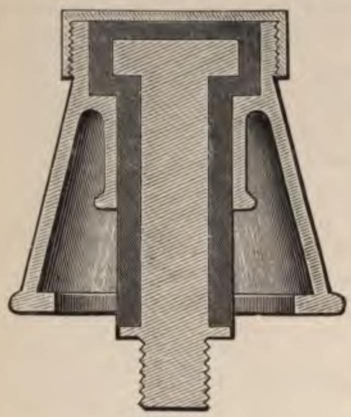


Fig. 67.

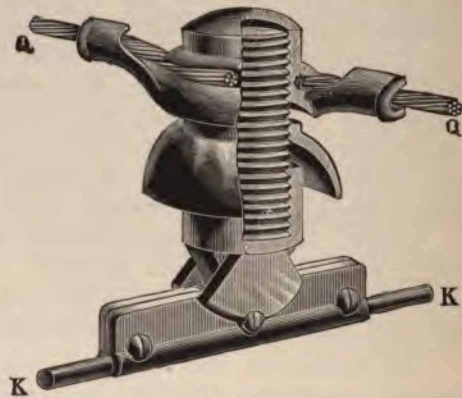


Fig. 68.

besondere Sorgfalt angewandt werden. Zunächst darf der Draht nicht ausgeklopft werden, sondern muss durch ein geeignetes Walz- oder Ziehwerk, das für die Montage leicht handlich sein muss, gerade gerichtet werden. Wird der Draht dann durch Flaschenzug in geeigneter Höhe straff gespannt, so benutzt man die durch



Fig. 69.

Fig. 69 gezeigten Klauen a zum vorläufigen Festhalten. Dieselben werden so umgebogen, dass sie den Fahrdraht eng umschliessen, eventuell wird der Drahthalter und der Fahrdraht noch durch Bindedraht so lange gehalten, bis die Lötung vorgenommen werden kann. Nach dieser Lötung werden die Klauen a an der unteren Seite der-

artig abgefeilt, dass der Wagenkontakt glatt daran vorbeischleifen kann. Es darf hier nicht unerwähnt bleiben, dass diese so elegant aussehende Fahrdrahtbefestigung den grossen Nachteil besitzt, dass der hartgezogene Kupferdraht bei der Lötung durch unvorsichtiges Warmmachen seine hohe Festigkeit verliert und dadurch eine seiner besten Eigenschaften einbüsst.

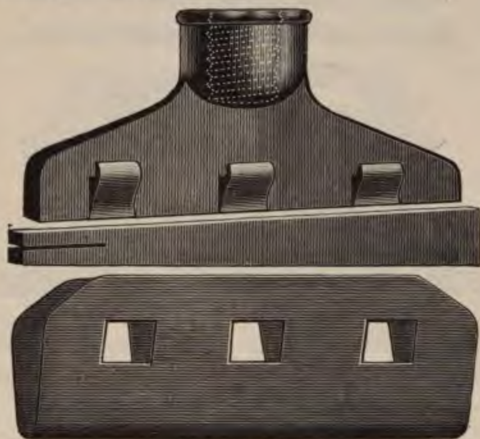


Fig. 70.

Bei der dritten Befestigungsart befindet sich weder Schraube noch Lötung. Der Fahrdraht wird vielmehr nur in ein geeignetes gebogenes Blech gelegt, welches, der Fig. 70 und 71 gemäss, in das Oberteil eingehängt wird. Der Fahrdraht wird dann durch den Keil festgehalten. Fig. 72 zeigt den fertigen Halter dieser Konstruktion.



Fig. 71.



Fig. 72.

Durch Fig. 73 und 74 werden noch weitere Drahthalterkonstruktionen dargestellt, bei denen weder Schrauben, noch Lötung, noch Keil erforderlich sind. Durch Fig. 75 wird ein Halter gezeigt, der den Fahrdraht ungemein fest hält, dem Wagenkontakt jedoch stets einen schädlichen vertikalen Stoss erteilt. Die vorstehenden

Hänger sind nur für gerade Strecken anwendbar. In Kurven würden dieselben den seitlichen Beanspruchungen nicht genügen können.



Fig. 73.

Im Gegensatz zu den Hängern werden alsdann Spanner angewandt. Der seitliche Kurvenzug nach aussen muss durch den Fahrdraht



Fig. 74.

selbst aufgenommen werden. Die Spannerkonstruktion muss indes auf den Wagenkontakt Rücksicht nehmen, sodass, je nachdem dieser



Fig. 75.

durch Rolle oder Bügel gebildet wird, der Spanner zweifacher Art sein kann.

Fig. 76 zeigt einen einseitigen Kurvenspanner für die Rolle. i bedeutet die Isolations- und Befestigungsstelle für den Spanndraht.

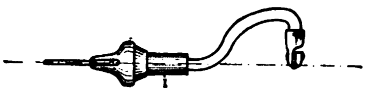


Fig. 76.

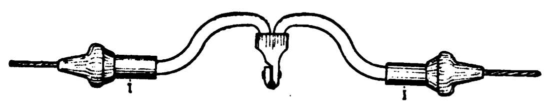


Fig. 77.

Soll derselbe Spanner zugleich Träger bezw. Hänger sein, so muss er in doppelter Ausführung, wie Fig. 77 zeigt, angewandt werden. Die Mittellinie des Spanndrahtes bezw. Querdrahtes geht durch den Mittelpunkt des Fahrdrahtes. Eine den gleichen Zweck erfüllende Spannerkonstruktion ist durch Fig. 78 gekennzeichnet.

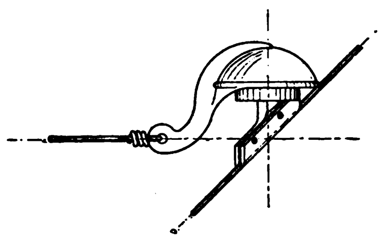


Fig. 78.

Für den Bügelkontakt muss der Fahrdraht K stets unterhalb des Querdrahtes Q liegen, damit verhindert wird, dass der Bügel an den Querdraht anschlägt. In der geraden Strecke hat diese Bedingung keine Bedenken, in der Kurve jedoch muss man sich anders helfen, um den seitlichen Zug des Fahrdrahtes abzufangen. Man legt zu diesem Zwecke einen parallelen Zusatzdraht Z genau senkrecht über den Fahrdraht und greift mit dem Spanndraht in der Mittellinie beider Längsdrähte an. Man sieht in der Anordnung einer Kurve, Fig. 79, dass das Drehmoment aufgehoben ist.

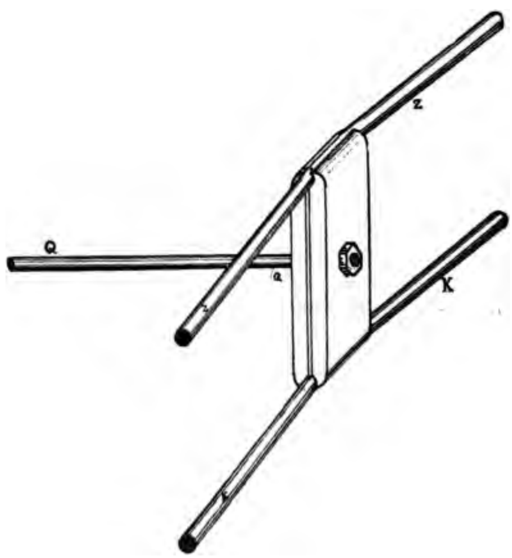


Fig. 79.

Die Isolation der vorstehend beschriebenen Hänger und Spanner wird auf mehrfache Art bewirkt. Der Halter sitzt gewöhnlich in isolierender Masse, wie schon bei Fig. 67 gesagt, welche entweder herumgepresst oder eingedreht wird. Fig. 80 zeigt die Befestigung in eingedrehte

Isolationsstücke. Bei Fig. 81 wird die Isolation dadurch bewirkt, dass man eine Hartgummimasse um den Halterstift presst und dann von oben in die Isolatorglocke einsetzt. Diese letztere Konstruktion hat den Vorzug der Billigkeit, die erstere bietet eine bessere Gewähr für genaue Centrierung des Stiftes. Es kann nämlich vorkommen, dass beim Umpressen der Isolationsmasse der

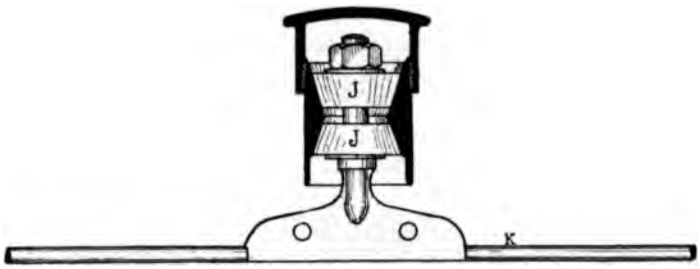


Fig. 80.

Halterstift excentrisch zu liegen kommt, wodurch die Isolationsmasse ungleiche Wandung ergiebt. Neuere Fabrikationsmethoden haben indes auch diesem Übelstande zu begegnen gewusst, sodass jetzt fast durchgängig die centrale Umpressung der Isolationsschicht angewendet wird.

Eine zweite Isolation wird im Querdraht selbst angebracht. Als eine sehr einfache und wirksame Isolation ist die Porzellannuss zu

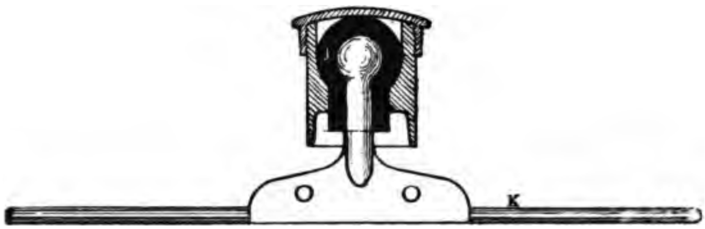


Fig. 81.

bezeichnen. Dieselbe ist in ihrer Grundform eine Kugel. Die Enden des an dieser Stelle unterbrochenen Querdrahtes werden zu Drahtschlingen umgebildet, welche rechtwinkelig zu einander die Porzellankugel umfassen. Die für alle Isolatoren, welche in freier Luft hängen, charakteristische Tropfkante wird durch Vorsprünge gebildet, wie dieselben durch Fig. 82 dargestellt sind. Die Porzellankugeln setzen Staub und Schmutz an, sodass dieselben von Zeit zu Zeit gesäubert

werden müssen. Das Porzellan wird nur auf Druck beansprucht und widersteht somit den auftretenden Zugkräften zur Genüge.

Eine ähnliche Konstruktion wird durch die Figuren 83 und 84 dargestellt.

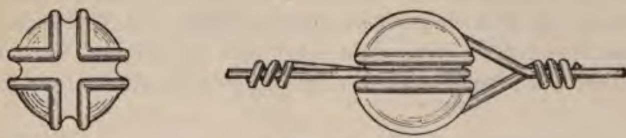


Fig. 82.

Die dritte Isolationsstelle bietet sich an der Befestigungsstelle des Querdrahtes.

Entweder bildet man die Hausrosette mit gewöhnlichem Isolator aus, wie Fig. 85 zeigt, oder man vermeidet den hierbei auftretenden



Fig. 83.



Fig. 84.

Hebelarm r, indem man einen Hülsenisolator, Fig. 86, zwischen Mauerhaken und Querdraht, Fig. 87, einfügt.

Der Hülsenisolator wird aus einer metallischen Hülse gebildet, in welcher eines der gebräuchlichen Isoliermittel steckt. In diesem

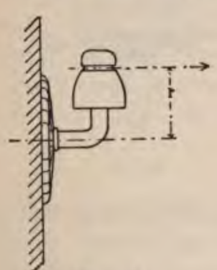


Fig. 85.



Fig. 86.

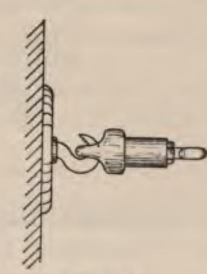


Fig. 87.

Isoliermittel liegt centriert die nachlassbare Befestigungsöse für den Querdraht. Bei Konstruktion aller dieser Isolationsteile ist darauf zu achten, dass der Flächendruck nicht zu gross wird. Die zufälligen Beanspruchungen der Druckflächen sind bei den ständig vorkommenden Vibrationen mit genügender Sicherheit in Rechnung zu ziehen.

Wohnhäuser, welche nicht in allen Gegenden aus festem Steinbau aufgeführt sind, lassen ein unangenehmes Geräusch vernehmen, wenn Hausrosetten ohne besondere Schalldämpfung zur Aufnahme des Querdrahtes dienen. Sei es nun, dass durch den reibenden Kontakt eines Bügels oder durch die seitlichen Schläge einer Rolle der Fahrdraht in Schwingungen versetzt wird, in jedem Falle verlangen die Inwohner, von dem Geräusch möglichst verschont zu bleiben. Durch Einschaltung von geeigneten Gummihülsen zwischen

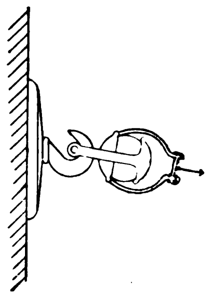


Fig. 88.

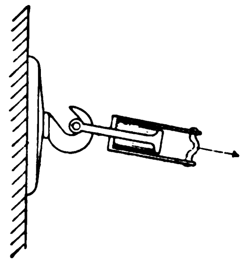


Fig. 89.

dem Isolator und dem festen Teile der Hausrosette ist diesem Übelstande abgeholfen, sodass selbst pessimistische Hauswirte und Einwohner sich völlig befriedigt haben. Durch die Figuren 88 und 89 sind die gebräuchlichen Antivibrations-Konstruktionen schematisch gekennzeichnet.

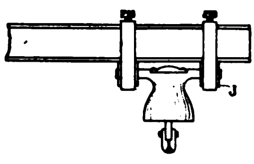


Fig. 90.

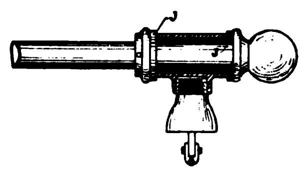


Fig. 91.

Die gleichen Konstruktionen, welche für die Isolation an den Hausrosetten Verwendung finden, sind im grossen und ganzen auch dann verwendbar, wenn der Querdraht an besonderen Masten befestigt ist.

Einige Schwierigkeit bietet es, die doppelte oder gar dreifache Isolierung zwischen Fahrdraht und Erdboden bei eisernen Auslegermasten zu erreichen. Man hat hier die Seitenarme des Hängerisolators mit Isolationsmasse umpresst oder mit Isolationshülsen versehen, wie Fig. 90 zeigt, oder man hat den Ausleger selbst mit Isolationsmasse belegt, wie Fig. 91 zeigt. Ein dritter Ausweg ist der, den Ausleger mittels Isolationshülsen am Mast zu befestigen.

Bei allen Querdrahtaufhängungen macht sich das Bedürfnis bemerkbar, den Querdraht selbst mitunter nachspannen zu können, teils um die Höhenlage, teils um die Seitenlage des Fahrdrahtes zu regulieren. Einige sehr einfache Konstruktionen zu diesem Zwecke

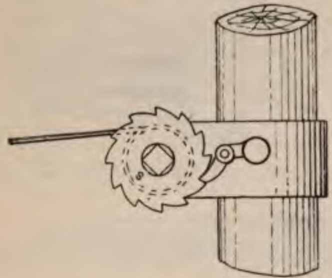


Fig. 92.



Fig. 93.

sind im Folgenden beschrieben. Fig. 92 stellt dar, wie die Spannung durch das Sperrrad S erhalten bleibt. In der durch Fig. 93 bezeichneten Konstruktion wird der Spanndraht in einer geschlitzten, innen gezahnten Röhre, die durch eine konische Gewindemutter von aussen enger und enger getrieben wird, festgehalten. Ein Lockern bei grösserer Zugbeanspruchung ist völlig ausgeschlossen.



Fig. 94.

Durch Fig. 94 wird eine äusserst einfache Keilverbindung gezeigt, deren Wirkung aus der Zeichnung Fig. 95 erhellt.

Da als Querdrähte auch Drahtseile Verwendung finden, dient für deren nachspannbare Endbefestigung folgende Vorrichtung: Besteht z. B. das Seil aus sieben Litzen, so sind diese Litzen im Querschnitt so angeordnet, wie Fig. 96 zeigt. Die mittelste Litze wird durch einen

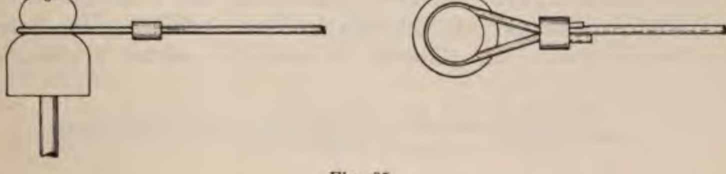


Fig. 95.

Konus K gezogen und das vorgestreckte Ende zu einer Öse umgebogen. (Fig. 97.) Alsdann werden die aussenliegenden Litzen um den Konus herumgelegt und die zuvor eingefädelte Hülse H darüber geschoben. Eine aufgeschraubte Kappe M bildet den Verschluss nach

hinten und zugleich die Aufhängungsöse u. s. w. Durch den Zug des Seiles zieht sich naturgemäss der Konus, der ausserdem mit Querrippen versehen sein kann, immer fester in die Hülse hinein und presst die dazwischenliegenden Drähte zusammen.

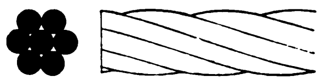


Fig. 96.

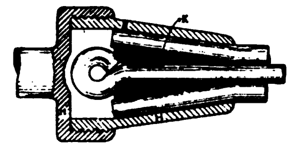


Fig. 97.

Fahrdrahtverbinder.

Fahrdrahtverbinder dienen einmal dazu, um die Fabrikationslängen, wenn sie mitten auf der Strecke enden, aneinander zu

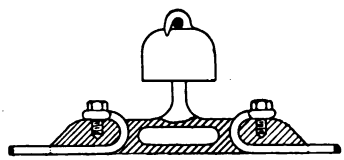


Fig. 98.

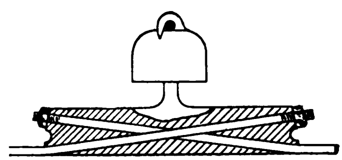


Fig. 99.

reihen, und zum anderen Male, um gerissene Drahtenden wieder zu verbinden. Zu verwerfen sind alle diejenigen Kuppelungsmuffen, welche Lötungen erfordern, weil durch das Warm- oder gar Heisswerden des Drahtes die Zugfestigkeit desselben in erheblichem Masse abnimmt.

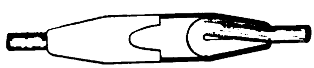


Fig. 100.

Am besten eignet sich zur Verbindung der Fabrikationslängen ein Aufhängungspunkt am Querdraht oder Ausleger. In schematischer Weise deuten die Figuren 98 und 99 solche Verbinder an.



Fig. 101.

Zwischen zwei Aufhängungspunkten liegende Verbinder haben eine Anordnung nach Fig. 100. Ausser diesen eignen sich die oberirdischen Drahtweichen zu Verbindungsstellen, was weiter später näher beschrieben wird.

Reisst im Betriebe der Fahrdraht, sei es durch innere Fehler oder durch Zufälligkeiten und Mutwilligkeiten, so ist eine auf kaltem Wege schnell einschaltbare Muffe durch folgende Fig. 101 gegeben. Hier werden die zerrissenen Drahtenden, nachdem sie in eine konische Hülse gesteckt sind, zusammengebogen, so dass sie die ebenfalls konischen Öffnungen ausfüllen. Alsdann werden die Hülsen durch ein Mittelstück mit Rechts- und Linksgewinde zusammengezogen. Da die Muffe möglichst dünn und leicht sein muss, ist dieselbe aus Stahl oder Bronze zu fertigen. Um galvanische Vorgänge zwischen Stahlmuffe und Kupferdraht zu verhüten, empfiehlt sich eine galvanische Verkupferung der Muffe innen sowohl wie aussen. Dieser



Fig. 102.

Muffe ähnlich ist die unter Fig. 102 dargestellte, woselbst die zerrissenen Drahtenden durch Hämmern verdickt werden müssen. Fig. 103 zeigt eine Konstruktion, bei der die Enden mit Rechts- und Linksgewinde versehen werden müssen, um in die Verbindungshülse eingeschraubt zu werden.

Aus dem vorhergehenden Kapitel: »Statik des Tragwerkes«, ersahen wir die Notwendigkeit, den Fahrdraht im Winter nachlassen, im Sommer zusammenziehen zu können. Je nachdem nun diese

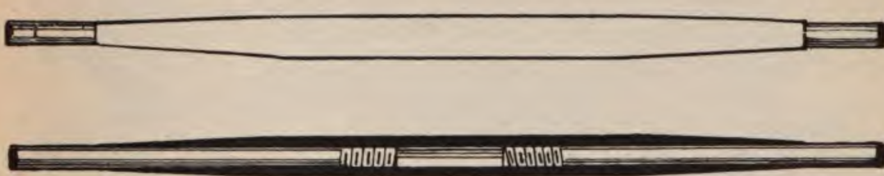


Fig. 103.

Fahrdrahtspannvorrichtungen in geringeren oder weiteren Abständen montiert sind, werden sie einen grösseren oder geringeren Hub zu überwinden haben. Konstruktiv ähneln diese Vorrichtungen den bekannten Schraubenschlössern mit einer Rechts- und Linksgewindemutter. Die stosslose Überführung des Fahrkontaktes muss durch eine geeignete Überbrückung erfolgen.

Streckenisolatoren.

Um zwei Strecken, Fig. 104, voneinander unabhängig zu machen, d. h. um zu erreichen, dass Wagen II noch Strom erhält, wenn auf der vorliegenden Strecke, wo Wagen I fährt, irgend ein Kurzschluss durch herabgefallenen Draht u. s. w. eingetreten ist, schaltet

man zwischen die Strecken I und II einen Streckenisolator S, welcher so konstruiert sein muss, dass die dem Wagenkontakt gebotene Kontaktfläche nicht unterbrochen wird, dass ferner der Zug in Richtung des Fahrdrahtes beiderseits aufgenommen wird, unter Vermeidung schädlicher Hebelarme, und dass endlich bei auftretender Spannungsdifferenz an den Fahrdrahtenden eine Funkenbildung vermieden wird.

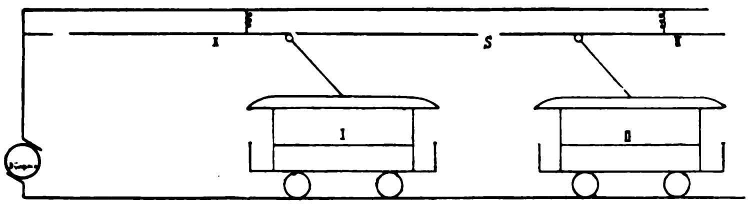


Fig. 104.

Über die Lichtbogenlänge starker Stromunterbrechungen bei 500 Voltspannung haben angestellte Versuche ergeben, dass die Entfernungen, die bei der Konstruktion und Installation der Stromkreisunterbrecher innegehalten werden müssen, um die Bildung eines Lichtbogens zu verhüten, folgende sein müssen:

Stromstärke in Ampère	Maximum der Entfernung, bei welcher der Lichtbogen sich bildet	Geringste Entfernung, bei der ein Lichtbogen erlischt	Entfernungen, die bei der Konstruktion vorzusehen sind
10	6 *mm*	12,7 *mm*	25 *mm*
20	12,7 »	18,7 »	50 »
30	50,8 »	50,8 »	70 »
40	50,8 »	57,0 »	85 »
50	57,0 »	63,0 »	90 »
60	76,2 »	82,2 »	95 »
70	76,2 »	88,5 »	100 »
80	82,2 »	88,5 »	105 »
90	88,5 »	94,5 »	110 »
100	94,5 »	101,6 »	115 »

Bedingung für die Anordnung der Streckenisolatoren ist natürlich, dass die in Sektionen eingeteilte Fahrleitung von einer besonderen Speiseleitung an bestimmten Stellen mit Strom versorgt wird.

Das englische Gesetz bestimmt, dass bei Luftleitungen, welche eine Länge von mehr als 800 *m* besitzen, Vorrichtungen vorzusehen sind, durch welche die in der Nähe von Gebäuden verlaufenden Teile der Leitung bei Feuersgefahr oder dergl. ohne Zeitverlust ausser

Verbindung mit der Stromquelle gebracht werden können. Diese Bedingung erfordert, dass jeder Streckenisolator mit einem vom Erdboden aus leicht erreichbaren Ausschalter versehen wird.



Fig. 105.

Die bekanntesten Ausführungen für Streckenisolatoren sind die unter Fig. 105, 106, 107 und 108 dargestellten. Der zuletzt bezeichnete Streckenisolator vermeidet die Funkenbildung dadurch, dass, wie bei



Fig. 106.

dementsprechenden Blitzableitern, zwischen den zu teilenden Strecken abwechselnd Isolations- und Kupferplättchen aneinander gereiht sind.

Befinden sich die Streckenisolatoren in einem verzweigten Netze,



Fig. 107.

so kann man auf besondere Speiseleitungen verzichten, lässt vielmehr die hinter diesem Isolator befindliche Strecke durch eine andere Fahrleitung speisen, wenn der Fahrdraht durch den betreffenden



Fig. 108.

Isolator und Streckenschalter abgeschaltet ist. Streckenisolator und Streckenschalter kann man auch vereinigen. Dann muss der Schalter mittels einer Stange bedient werden.

Wird der Kontakt am Wagen mittels Rolle bewirkt, so ist es erforderlich, bei Weichen, Abzweigungen und Kreuzungen von Bahnlinien analoge Konstruktionen für den Fahrdraht in der Luft anzubringen, wie solche für die Gleise vorhanden sind.

Wird der Kontakt durch den breiten Schleifbügel bewirkt, so fallen diese Konstruktionen gänzlich fort.

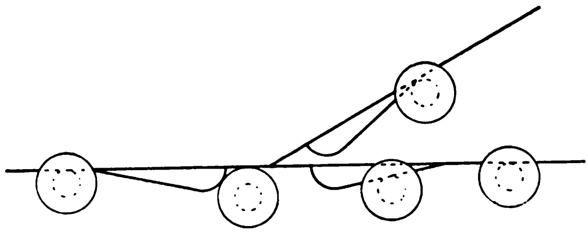


Fig. 109.

Die Luftweichen.

Dieselben müssen der Rolle gestatten, sowohl den durchgehenden Draht zu benutzen, als auch in die Abzweigung ohne Bewegung einer

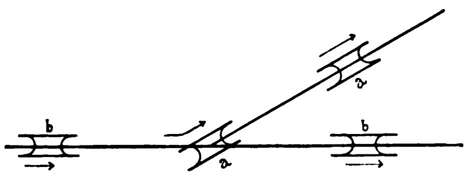


Fig. 110.

Zunge oder irgend welchen besonderen Druck übergehen können. Man erreicht dies, indem man am Weichenmittelpunkt den Rollenkörper von der Kontaktdrahtfläche abgehen lässt und dem Rollen-

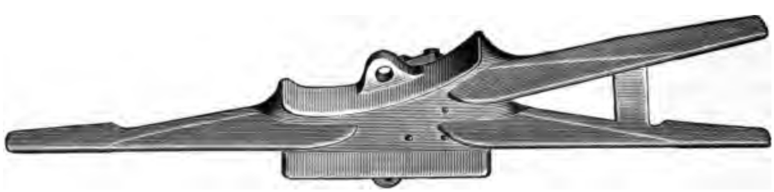


Fig. 111.

flansch die Führung und den Kontakt überlässt. (Fig. 109.) Die Richtung wird der Rolle durch die Richtung des Wagens selbst gegeben, darum muss der Wagen schon die abzweigende Richtung eingenommen haben, wenn die Rolle in die Luftweiche einfährt. Die Stellung der Rollenmitte vor der Weiche muss den richtigen Einlauf begünstigen.

(Fig. 110.) Zum Überfluss bringt man mitunter an dem Weichenkörper noch seitliche Führungsflanschen an, damit nach Möglichkeit der Entgleisungsgefahr vorgebeugt ist. (Fig. 111.)



Fig. 112.

Um zu erreichen, dass der eine durchgehende Draht nicht an der Weiche durchschnitten zu werden braucht, lässt man denselben gerade durchgehen und hängt gewissermassen die Weiche darunter an, wie etwa Fig. 112 und 113 zeigt. Leichtere Konstruktionen zu



Fig. 113.

diesem Zwecke sind auf der Tafel »Oberleitungsteile der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft« dargestellt. Diese Anordnung ist jedoch bei schneller Fahrt fehlerhaft, da die Rolle nicht allmählich nach unten gedrückt wird, sondern einen plötzlichen Schlag nach unten

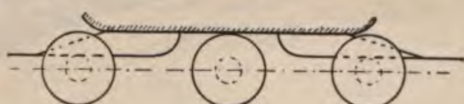


Fig. 114.

erhält, wodurch ein starker Abreissfunke entsteht, und die Rolle erst dann wieder zurückgeschnellt ist, wenn die Weiche schon hinter ihr liegt. Es ist dann dem Zufall überlassen, ob die Rolle den Fahrdraht überhaupt, oder mindestens, ob sie den richtigen Draht erreicht. Immer liegt in dieser Anordnung eine Entgleisungsgefahr. Bei der Konstruktion in Fig. 114 bleibt der Rollenschwerpunkt stets in gleicher Höhe. Der durchgehende Draht kann allerdings auch durchgehend

7*

bleiben, muss aber mehrmals geknickt, bezw. gebogen werden, wodurch ein nachträgliches Verschieben der Weiche zwar erschwert ist, dagegen ein günstiger Verankerungspunkt des Fahrdrahtes gegeben ist. Verankerungen des Fahrdrahtes in seiner Längsrichtung soll



Fig. 115.

man nicht durch Klemmstücke bewirken, sondern man soll zur Verankerung solche Stellen wählen, an denen der Draht entweder durch Weichen, Kreuzungen, Verbindungsmuffen, Streckenisolatoren absolut feste Endverbindung aufweist, oder man soll Konstruktionsteile ein-

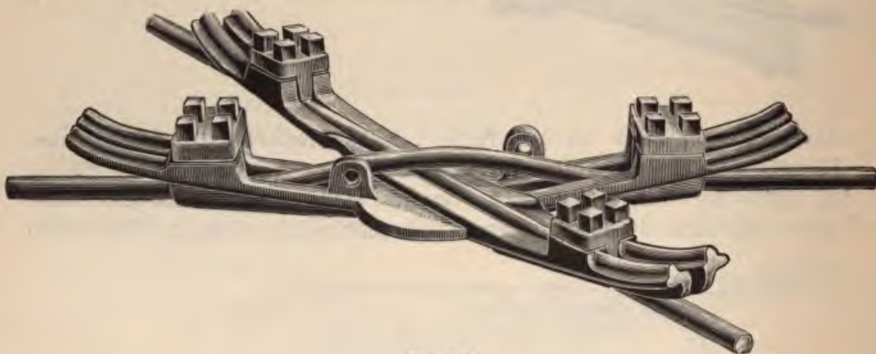


Fig. 116.

fügen, welche durch Endösen, Verschlingungen u. s. w. eine gleichwertige Befestigung des in seiner Längsrichtung zu verankernden Fahrdrahtes bewirken.

Luftkreuzungen.

Dieselben kommen da in Anwendung, wo sich zwei Fahrdrähte kreuzen. Analog den Weichenkonstruktionen fallen auch die Kreuzungen aus. Der führende Seitenflansch wird hier recht zweckmässig durch einen Mitteldorn ersetzt, wie ihn Fig. 115 und 116 zeigt.

Eine eigenartige Kreuzung ist durch Fig. 117 dargestellt. Hier schafft sich die Rolle selbst in der einen Richtung eine geschlossene Bahn, indem bei Berührung des einen Winkelhebels auch der andere sich schliesst. In der anderen Fahrrichtung bedarf es einer Gleitbahnschliessung nicht.



Fig. 117.

Bei Anwendung des Bügelkontaktes erfordert die Konstruktion der Kreuzung ebenfalls eine Sonderheit, damit der Bügel nicht an den kreuzenden Fahrdraht stösst. Fig. 118 deutet an, wie der Bügel durch die Kreuzung heruntergedrückt wird und wie dadurch verhindert wird, den kreuzenden Draht zu berühren. Die Stellungen I, II, III zeigen die fortgeschrittenen Stellungen eines Stromabnehmerbügels.

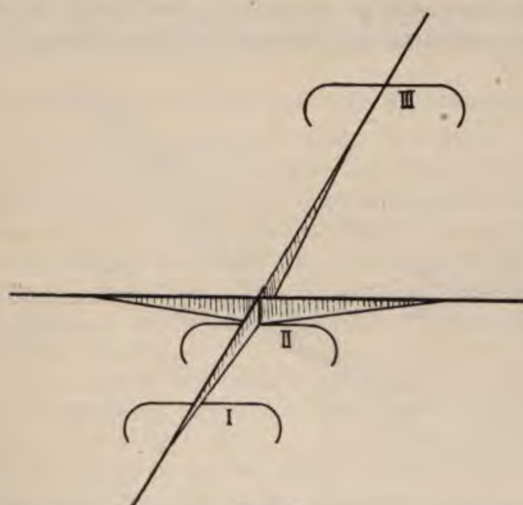


Fig. 118.

Wenn es sich darum handelt, eine Fahrdrahtweiche sowohl für Rollen- als auch gleichzeitig für Bügelbetrieb zu konstruieren, so sind folgende Grundsätze zu beachten:

Der Rollenflansch erfordert, wie wir soeben gesehen haben, stets eine Einkerbung an der kreuzenden Stelle. In diese Einkerbung

würde naturgemäss der Bügel einfallen. Ein Schlag und ein Abreissfunke würden daher die Folge sein, welche beide zerstörend auf den Bügel und Fahrdraht einwirken. Der Konstrukteur findet, wenn er pendelnde Überbrückungen, Fallthürchen und andere durch den Wagenkontakt bewegte Teile (vergl. Fig. 117) für diese Kreuzung anwenden will, verschiedene Möglichkeiten. Bedenkt man aber, dass

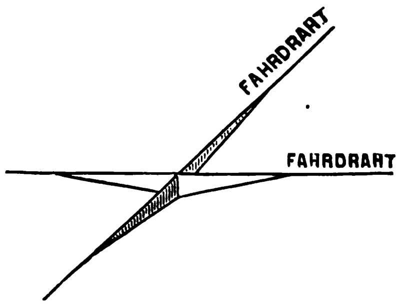


Fig. 119.

selbst das einfachste Gelenk, wenn es auch nur 5 *m* hoch in der Luft hängt, Aufsicht braucht, um im guten Zustande zu bleiben, so muss diejenige Konstruktion entschieden den Vorzug erhalten, welche ein festes unbewegliches und äusserst einfaches Gefüge besitzt.

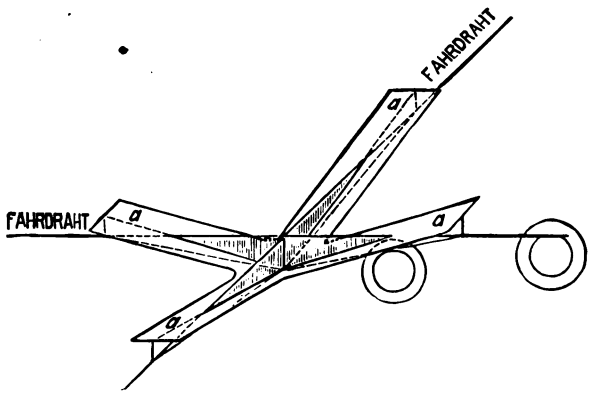


Fig. 120.

Dem Bügel genügt es schon, wenn seiner kontaktgebenden Fläche keine Vorsprünge geboten werden. Das Schema für die Bügelkreuzung ist durch Fig. 119 gegeben. Ein Bild für die Rollenkreuzung ist durch die Figuren 115 und 119 gekennzeichnet. Bei der Rolle kommt es vor allem darauf an, dass der Rollenkörper oder der Flansch durch den Draht oder die Rippen der Kreuzung geführt wird. Eine Vereinigung der Fig. 119 und 109 ergiebt Fig. 120 mit folgenden

Abweichungen von der obengenannten Regel: Die Rolle bleibt nur bis zu der Stelle geführt, wo der kreuzende Draht sich befindet. Der Rollenkörper wird von der führenden Rippe abgehoben und überlässt den Flanschen den Kontakt. An der kurzen Strecke, an der die Rippenführung fehlt, könnte die Rolle allerdings entgleisen, wenn irgend eine seitliche Kraft auf dieselbe wirken würde. Um dies zu vermeiden, muss man sich die störenden Ursachen vor Augen führen. Einmal kann der Rollenkorb schief federn, was durch Geraderichten der Federn zu umgehen ist, zweitens kann ein Flansch mehr abgenutzt sein, als der andere, wodurch ein Kippen der Rolle beim Freiwerden erzeugt werden kann, drittens kann ein kräftiger Vertikalschlag die Bewegungsrichtung des Rollenschwerpunktes verändern, und viertens können Wagenschwankungen an der Kreuzung seitliche Stösse verursachen. Es wird sich im praktischen Betriebe nicht vermeiden lassen, dass die Kreuzung schnell durchfahren wird, und daher sind alle Stösse zu vermeiden, besonders an der ungeführten Stelle, d. h. an der Stelle, an der der Rollenflansch über die Kreuzungsstelle geht. Es ist also erforderlich, alle unvermeidlichen Schläge möglichst abzuschwächen, und dies wird erreicht, indem die Kreuzung möglichst lang, z. B. 1 *m* lang, und die Schrägung der Fläche a allmählich erfolgt. Eine Richtungsänderung an der Kreuzungsstelle muss natürlich vermieden werden.

g) Die Blitzschutzvorrichtungen und Streckensicherungen.

Jede in der Luft ausgespannte blanke Leitung ist den besonders bei Gewittern auftretenden atmosphärischen Entladungen ausgesetzt. Solche Entladungen würden, wenn man ihnen nicht einen bequemen Ableitungsweg zur Erde bieten würde, durch die zwischen der Luftleitung (Fahrdraht) und der Erdleitung (Schiene) geschalteten Motoren und Dynamomaschinen gehen, und dieselben zerstören, da die, diesen Apparaten gegebenen Isolationen den hohen Spannungen des Blitzes nicht widerstehen können.

Bekanntlich springt der hoch gespannte Blitzstrom leichter bei einem hohen Widerstand direkt zur Erde über, als dass er durch die Windungen eines Solenoids, z. B. durch die Windungen des Ankers oder der Magnetschenkel geht, woselbst ihm durch die auftretende Selbstinduktion ein hoher Widerstand entgegentritt. Auf diesem Prinzip beruhen alle diejenigen Blitzableiterkonstruktionen, welche bei elektrischen Anlagen zur Verwendung kommen. Dieselben dürfen, obgleich sie dem Blitz Erdschluss ermöglichen müssen, keinen Kurzschluss zwischen Hochleitung bezw. Betriebsstrom und Erdleitung begünstigen, was bei Bahnen, die stets mit einem Pol an Erde liegen, besondere Konstruktionen nötig macht.

Die genannte Bedingung erfüllt bis heute noch kein Blitzableiter vollkommen, da es noch nicht möglich geworden ist, eine systematische Erprobung für die Konstruktion der Apparate durchzuführen. Wir sind nicht imstande zu diesem Zwecke uns künstliche Blitze herzustellen, welche annähernd die wirklichen Verhältnisse zur Darstellung bringen und zum Studium tauglich machen.

Von dem gegen die Erde 2—3 mal isolierten Fahrdraht führt eine isolierte Zweigleitung bis zum Aufhängungspunkt (Mast oder Hausrosette), woselbst der Anschluss an den Blitzableiter erfolgt.

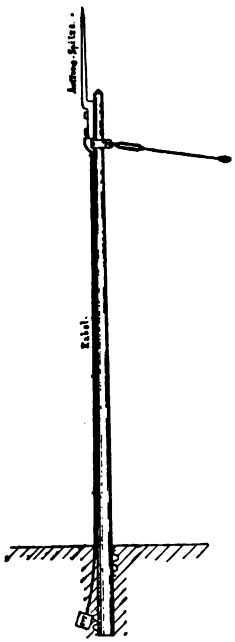


Fig. 121.

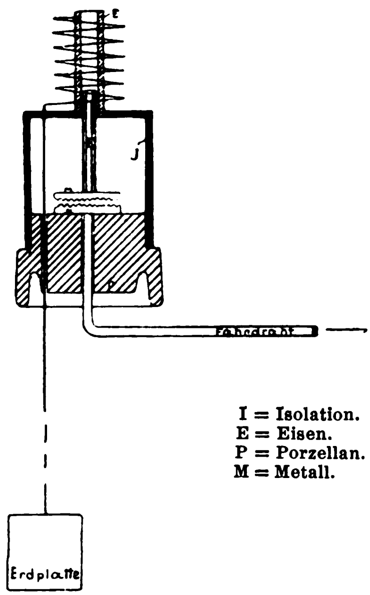


Fig. 122.

Das Drahtnetz, bestehend aus blanken Querdrähten u. s. w., ist gegen die Erde ebenfalls noch isoliert und daher muss auch dieses den Blitz leicht ableiten können, zumal nur blanke Drähte und Eisenteile dem Blitze zugänglich sind. Der gewöhnliche Spitzenblitzableiter, am Mast oder Haus angebracht, ist geeignet, die erste und einfachste Ableitung zu bieten, wenn der Blitz in nächster Nähe niedergeht. (Fig. 121.)

Die Konstruktion sämtlicher gebräuchlichen Blitzableiter sei hier in kurzen Zügen registriert. Alle haben gemeinsam, dass die Betriebsspannung einen äusserst hohen Widerstand zur Erde zu überwinden hat, während die hohe Spannung des Blitzes denselben leicht überspringt.

Der Ausgleich mit der Erdelektrizität erfolgt durch Anschluss an die Fahrschienen und durch Erdplatten, welche tief in feuchtes Erdreich eingelassen sein müssen.

Die Einrichtung des Siemens'schen Blitzableiters mit selbstthätiger Funkenlöschung ist durch Fig. 122 schematisch und durch Fig. 123 bildlich dargestellt. Sobald der Blitz zwischen den Spitzen überspringt, bleibt der Lichtbogen bestehen. Der Blitzstrom hinterlässt durch den Lichtbogen Erdschluss und erregt durch den nachfolgenden Arbeitsstrom den Magneten, welcher vermöge seiner Anordnung die Spitzen soweit auseinander zieht, bis der Lichtbogen erlöscht. Wenn die Spitzen nicht beschädigt worden sind, so wird nach Verlöschen der ursprüngliche Zustand wieder eintreten und zur neuen atmosphärischen Entladung bereit sein. Ist indes Metall abgeschmolzen, so würde beim Zurückgehen Erdschluss möglich sein, was bei den hohen Betriebsspannungen Beschädigungen der Anlagen hervorrufen kann.

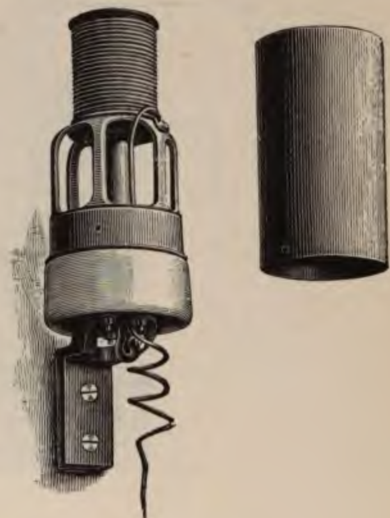


Fig. 123.

Eine verbesserte Konstruktion stellt der Siemens & Halske'sche Blitzableiter mit Funkenlöschung durch Öl dar, wie er schematisch durch Fig. 124 und 125, bildlich in Fig. 126 gezeigt wird. Parallel zur Spule Sp ist noch eine zweite Funkenstrecke geschaltet, während die erste Funkenstrecke der Spule vorgeschaltet ist. Die Funken springen zwischen den Kohlenstiften K über. Der Blitz springt nun bei der ersten Funkenstrecke über und zieht einen Übergangsfunken für den nachfolgenden Gleichstrom. Alsdann geht der Blitz durch die zweite Funkenstrecke zur Erde, während der Gleichstrom die Elektromagnetspule erregt und dadurch die unter Öl befindlichen Spitzen auseinander zieht. Die Praxis hat gezeigt, dass der Blitz zwar abgeleitet wird, jedoch unter Explosionen und öfterem

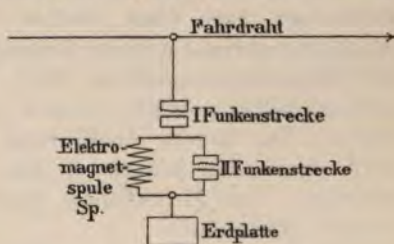


Fig. 124.

Zerstören des Apparates. Um alle beweglichen Teile zu vermeiden, sind nachfolgende Konstruktionen üblich geworden. Fig. 127 zeigt den Thomson'schen Ableiter. Hier springt der Blitz an derjenigen Stelle über, an der die daumenähnlichen Metallkörper am nächsten stehen. Sofort entsteht durch die Erdleitung E in dem Solenoid M ein Strom, welcher

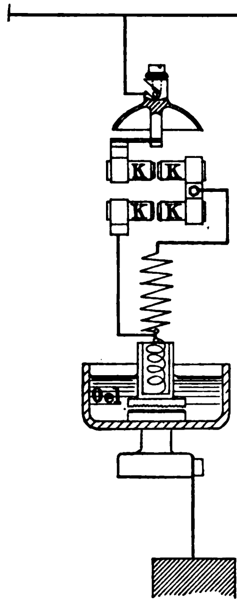


Fig. 125.



Fig. 126.

ein magnetisches Feld erzeugt. Die Kraftlinien dieses magnetischen Feldes, sowie die in die Höhe steigende warme Luft, drängen den Lichtbogen nach oben, sodass derselbe schliesslich durch die Verlängerung abreisst und den Erdschluss des Betriebsstromes verhindert. Der Magnetisierungsstrom wird auch durch den Arbeitsstrom der Leitung selbst gebildet, sodass die Magnetspule stets eingeschaltet bleibt. Die neuere Ausführung des Thomson'schen Blitzableiters wird durch das Schema in Fig. 128 veranschaulicht. Durch Abschmelzen der Metallstücke kann auch hier ein dauernder Kurzschluss eintreten.

Fig. 129 stellt eine Anordnung dar, auf der dem Blitz nur Gelegenheit geboten ist, über ganz kurze Widerstände zu springen, somit nur kleine Funken erzeugen kann, welche sofort erlöschen. An die oberste Metallplatte ist die Luftleitung angeschlossen, an die unterste die Erde. Zwischen den verschiedenen Metallplatten, deren Anzahl abhängig ist von der Betriebs spannung der Bahn,

liegen Glimmerplättchen. Die gegenseitige Isolierung der Zwischenplatten genügt, um den Betriebsstrom nicht zur Erde zu leiten,

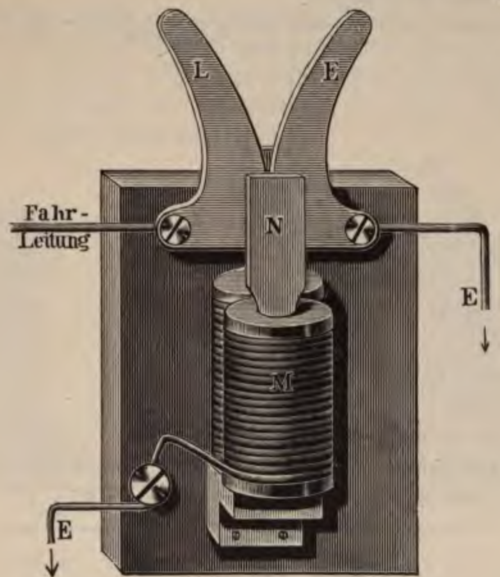


Fig. 127.

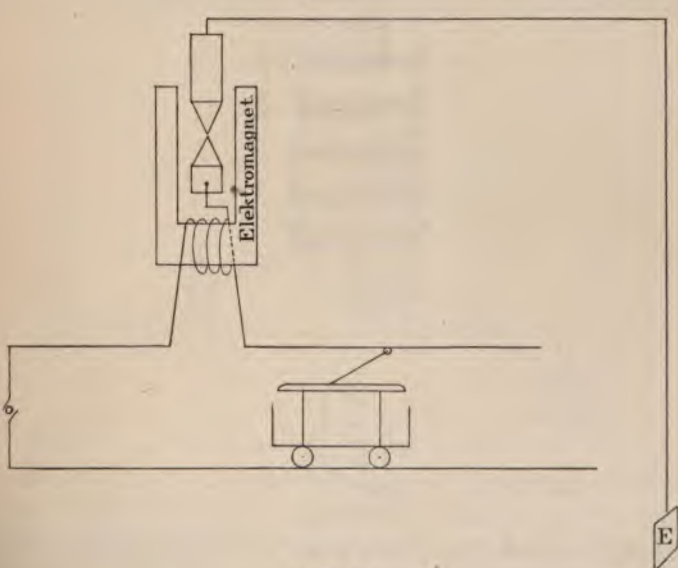


Fig. 128.

der Blitz indessen überwindet an der Aussenseite der Säule den Luftwiderstand und nimmt den oben geschilderten Weg zur Erde durch die kleinen Lichtbögen.

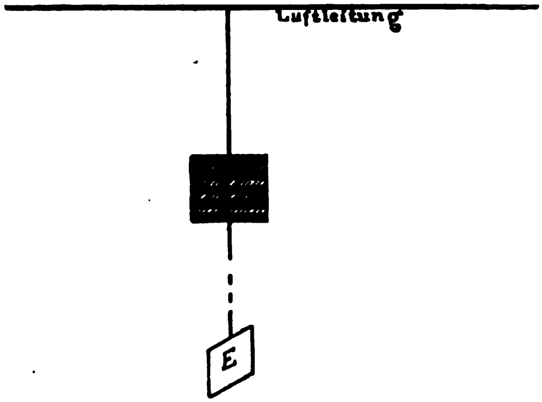


Fig. 129.

Eine andere Konstruktion eines Blitzableiters ist der sogenannte Kohlenblitzableiter in Fig. 130 schematisch, in Fig. 131 bildlich dar-

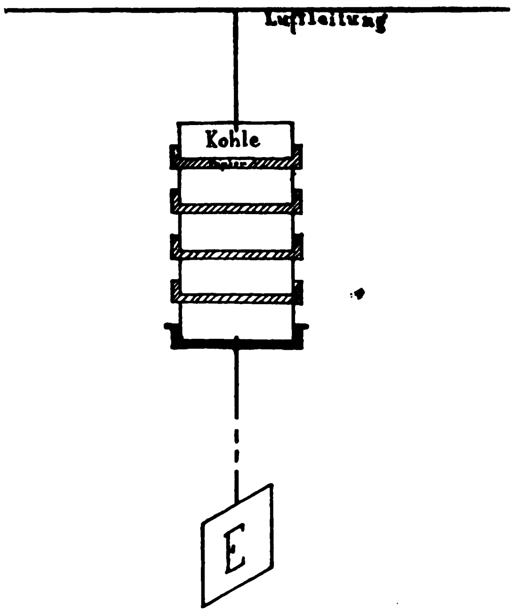


Fig. 130.

gestellt. Hier braucht der Blitz nicht den Luftwiderstand zu überwinden, sondern kann durch einen, für die hohe Blitzspannung

mässigen, für die Betriebsspannung jedoch genügend hohen Widerstand, zur Erde gelangen. Wie die Figuren zeigen, liegen Kohlenplatten und paraffiniertes Papier abwechselnd übereinander. Kohle und Paraffinpapier geben bei Berührung keine schädlichen, mit der Zeit leitend werdenden Verbindungen, wie etwa Metall und Paraffinpapier. Der bei diesem Blitzableiter stattfindende ständige Stromübergang macht ihn nur da verwendbar, wo nur wenig Ableitungen vorgesehen zu werden brauchen.



Fig. 131.

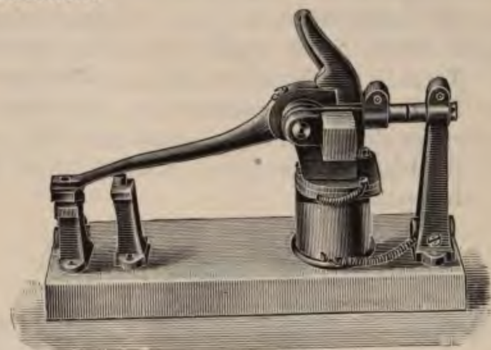


Fig. 132.

Die Blitzschutzvorrichtung von Schuckert & Co. mit elektromagnetischer Auslösung ist in Fig. 132 dargestellt. Schaltung und Wirkungsweise sind aus dem Schaltungsschema (Fig. 133) ersichtlich.

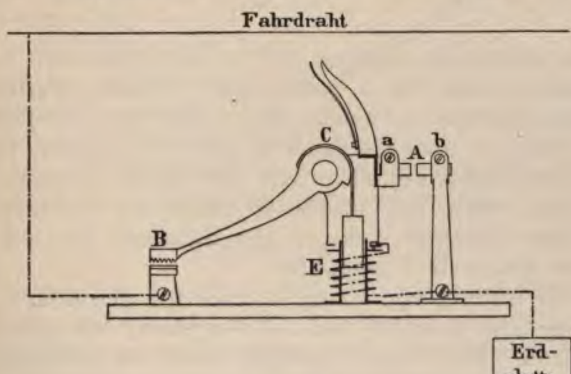


Fig. 133.

Sobald ein Blitz in die durch den Apparat geschützte Fahrleitung einschlägt, nimmt er seinen Weg über den Hebel BC und die zwischen zwei Kohlenstäben liegende Luftstrecke A zur Erde. Durch den Übergang des Blitzes wird auch hier ein Nachfolgen des Maschinen-

stromes eingeleitet werden, wodurch sowohl bei A als auch bei B ein Lichtbogen entsteht. Durch den Lichtbogen bei A wird nun an den Punkten a und b ein Spannungsunterschied hervorgebracht, sodass ein Teil des Stromes durch die Windungen der Spule E fliesst. Die Stromspule E wird dadurch magnetisiert und zieht den Eisenkern kräftig in sich hinein. Diese Bewegung wird auf den Hebel CB übertragen, welcher ausschlägt, und der Lichtbogen wird bei B abgerissen. Die Stromspule lässt nunmehr wieder den Kern los, der Hebel kehrt in seine Ruhelage zurück, und der Apparat ist wieder bereit, einen neuen Blitzschlag aufzunehmen.

Wenn B ein Metallkontakt ist, wird durch den Übergangsfunken das Metall leicht abgeschmolzen. Es empfiehlt sich daher, einen Kohlenkontakt hierfür anzuwenden. Ganz & Co., Budapest, haben eine ähnliche Konstruktion, welche durch Fig. 134 veranschaulicht ist, angegeben.

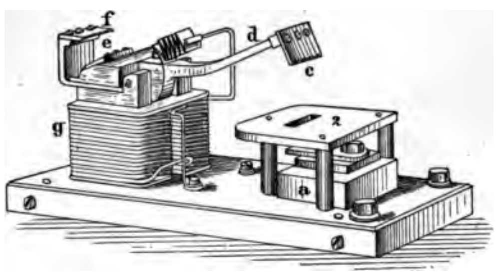


Fig. 134.

Die zu schützende Leitung ist an die gezahnte, vom Untergestell isolierte Elektrode a geschlossen. Dieser gegenüber steht die gezahnte Elektrode c, welche durch den vom Gestell isolierten drehbaren Hebel d und die Spule g eines U-förmigen Elektromagneten mit der Erde verbunden ist. Der Hebel d trägt an seinem anderen Ende einen mit gezahnter Elektrode versehenen Eisenanker e; diese Elektrode steht in der Ruhelage der mit der Erde verbundenen Elektrode f gegenüber.

Wird die Leitung von einem Blitzschlage getroffen, so erfolgt die Ableitung über a und c und mit Umgehung der Spule g über e bis f zur Erde. Bei a und c entsteht nun ein Lichtbogen, durch den — wenn die Entladung erfolgt ist — die Leitung über die Spule g des Magnetes zur Erde geschaltet wird. Der Anker wird nun angezogen, a und c geöffnet, der Bogen unterbrochen und hierauf der Hebel durch eine Feder in seine Ruhelage zurückgeführt.

Die sämtlichen angegebenen Konstruktionen haben den Nachteil, dass sie nicht gut im Freien angebracht werden können. Dagegen

ist neuerdings von Siemens & Halske ein denkbar einfacher Hochspannungsblitzableiter in die Praxis eingeführt worden, der, wenn er sich auf die Dauer bewährt, einen grossen Fortschritt in der noch schwebenden Frage, wirksame Blitzableiter zu besitzen, bedeutet. Fig. 135 stellt das Bild dar. An die Klemme A wird die Erdleitung und an B die Fahrleitung angeschlossen. Der bei C überspringende Blitz und nachfolgende Arbeitsstrom wird in die Höhe getrieben und erlischt bei entsprechender Länge. Die genannte Firma hält jedoch 500 Volt Gleichstrom zur Funktionierung des Apparates nicht für geeignet, sondern mindestens 1000 Volt. Er eignet sich mithin zunächst nur für hochgespannte Fernleitungen, wie solche z. B. bei Drehstrombahnen üblich sind.

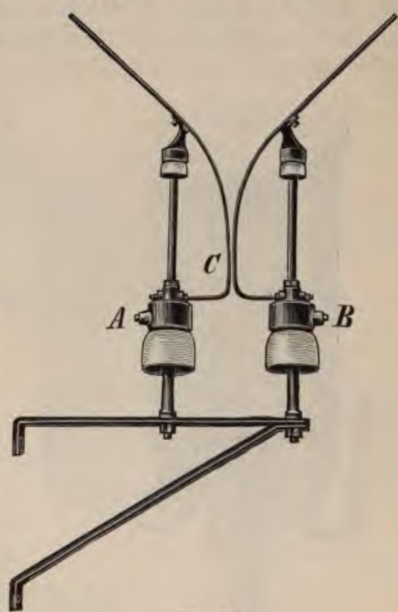


Fig. 135.

Die Erdleitung ist aus verzinktem Eisen oder aus verzinntem Kupfer herzustellen. Für eine im Grundwasser liegende Platte genügt eine Berührungsfläche von 1 *qm* einseitiger Oberfläche; für nur feuchtes Erdreich sind 2 *qm* zu wählen.

Kupferne Erdleiter sind 2 *mm*, eiserne 5 *mm* stark zu wählen. Stangen oder Röhren als Erdleitung müssen mindestens 5 *m* im Grundwasser stehen. Den günstigsten Erdanschluss bietet das Schienengleis der Bahnanlage, da die Schienen zur Erde den denkbar günstigsten Übergangswiderstand bieten.

Streckensicherungen.

Bei unterteilten Strecken, welche von einer Speiseleitung abhängig sind, ist es üblich, die Strecken vor Stromüberlastung zu schützen, indem man an dem Speisepunkt eine Bleisicherung zwischenschaltet, welche allerdings so gross bemessen sein soll, dass sie für jeden noch möglichen Betrieb genügend Strom durchlässt, ohne zur Schmelzwärme zu gelangen. Indessen soll die Bleisicherung abschmelzen, wenn durch Betriebsstörungen ein Kurzschluss stattfindet. Derartige Kurzschlüsse sind unvermeidlich, wenn der Fahrdraht

zerreisst und zur Erde fällt. Aber auch Schadhaftwerden von Isolationskörpern in der oberirdischen Leitung muss durch die Streckenbleisicherungen angezeigt werden.

Am einfachsten kombiniert man die Bleisicherungen mit den Streckenschaltapparaten, welche gleichfalls am Speisepunkt gut handlich vorzusehen sind. Es muss nämlich möglich sein, bei eingetretenem Kurzschluss die beschädigte Strecke gänzlich abzuschalten, damit möglichst schnell eine neue Sicherung eingesetzt werden kann.

Das Einsetzen oder Herausnehmen einer Bleisicherung darf nicht geschehen, während der Betriebsstrom durch die betreffende Leitung geht, da sonst zerstörende Funkenerscheinungen unvermeidlich sind.

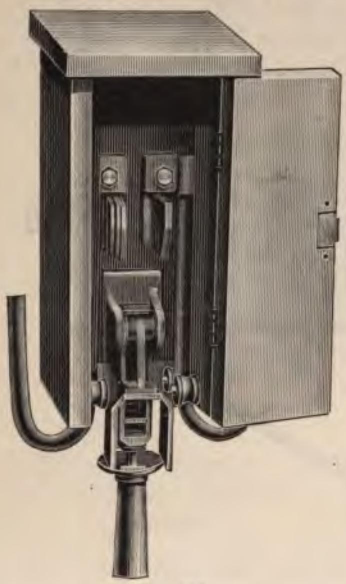


Fig. 136.



Fig. 137.

Automatische Ausschalter sind gleichfalls, auf den Strecken verteilt, angewandt worden, und man hat mit diesen Ausschaltern zugleich ein Signal verbunden, welches dem Fahr- und Bahnpersonal ein sichtbares Zeichen stattgefundener Unregelmässigkeit giebt. Die Konstruktion der Streckensicherungs-Schaltapparate bietet gegenüber den bekannten Konstruktionen keinen wesentlichen Unterschied. Das Hauptaugenmerk ist auf Schutz gegen Regen und Feuchtigkeit und gegen unbefugte Benutzung zu richten.

Ein einfacher, auf der Strecke angebrachter sogenannter Haus- oder Mastausschalter ist in Fig. 136 mit geöffnetem Schalter und in Fig. 137 mit geschlossenem Schalter dargestellt.

h) Sicherungen bei Drahtbrüchen

sind vor allem bei dem Fahrdraht wünschenswert, weil derselbe stets über den Verkehrswegen ausgespannt werden muss. Durch Zufälligkeiten des Betriebes oder durch höhere Gewalt kann ein Bruch des Drahtes erfolgen und sowohl Beschädigungen mechanischer als auch elektrischer Natur hervorrufen. Ein direkter Schutz durch Netze ist nicht durchführbar, wie etwa bei anderen Starkstromleitungen und Telegraphenleitungen, und eine indirekte Schutzvorrichtung mit einfachen Mitteln zu erreichen ist nicht leicht, kostspielig

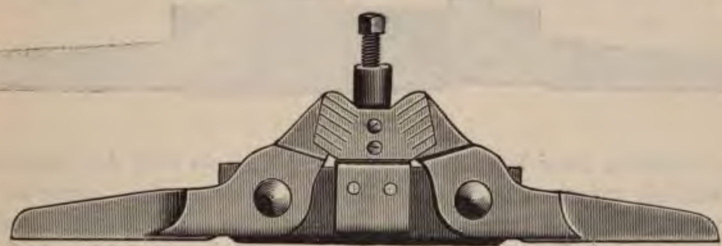


Fig. 138.

und unbequem. An einigen Beispielen sollen die in dieser Richtung stattgefundenen Bestrebungen der Vollständigkeit halber aufgeführt werden, obgleich ausgedehnte praktische Anwendungen nicht erfolgt sind.

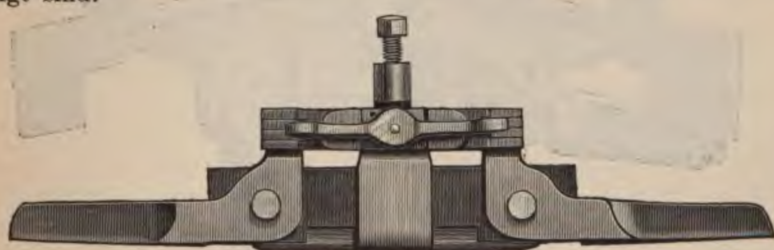


Fig. 139.

Reisst der Draht an irgend einer Stelle, so trifft das gerissene Ende stets den Erdboden, bezw. alles, was sich gerade unter der Bruchstelle befindet. Es wird also zunächst das niederfallende Gewicht einen für Menschen und Tiere stark beschädigenden Schlag verursachen. Da der Draht ausserdem mit bedeutender Zugspannung montiert ist, hat er das Bestreben, zurückzuschnellen und wird unter Umständen sich nach oben einrollen, weil die unteren Faserschichten des Drahtes von dem rollenden oder schleifenden Wagenkontakt mit der Zeit gestreckt worden sind.

Um das Einreissen zu vermeiden, hat man den Fahrdraht an einzelnen Teilstrecken von ca. 40 m (entsprechend der Entfernung der Queraufhängungen) [illegible] und aufgehängt, sodass di[e] Enden an den Queraufhängungsisolatoren befestigt werden können



Fig. 140.

Tritt zwischen zwei Isolatoren der Bruch ein, so fällt das betreffend[e] Drahtstück zwischen den benachbarten Isolatoren frei herunter un[d] es wirkt nur das Gewicht der Drahtstücke. Der herunterfallend[e] Draht ist natürlich alsdann stromlos und kann elektrisch keine[n]

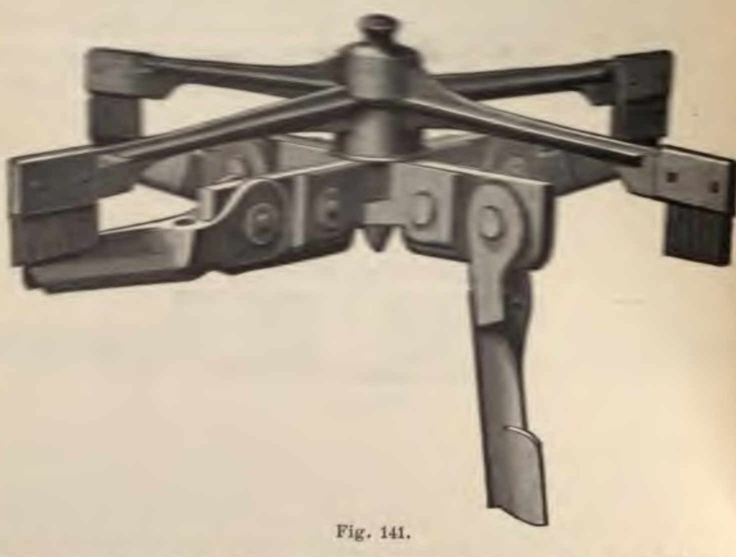


Fig. 141.

Schaden mehr anrichten. Diese Konstruktion hat sich durch d[ie] naturgemässe Schwerfälligkeit bis heute noch nicht eingebürgert.

Ähnliche Konstruktionen zeigen die folgenden Figuren 138, 13[9], 140, 141, bei denen der Draht beim Reissen wohl stromlos wir[d], aber nicht herunterfällt.

Um das Einrollen zu vermeiden, hat man den Fahrdraht aus einzelnen Teilstrecken von ca. 40 *m* (entsprechend der Entfernung der Queraufhängungen) hergestellt und aufgehängt, sodass die Enden an den Queraufhängungsisolatoren befestigt werden können.

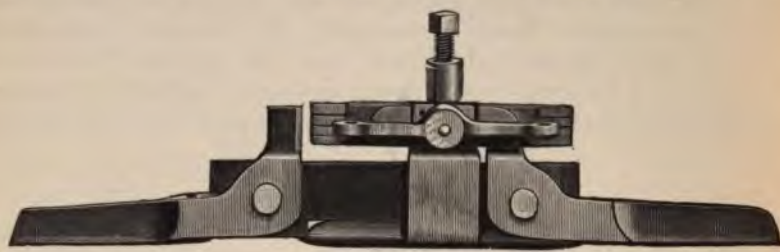


Fig. 140.

Tritt zwischen zwei Isolatoren der Bruch ein, so fällt das betreffende Drahtstück zwischen den benachbarten Isolatoren frei herunter und es wirkt nur das Gewicht der Drahtstücke. Der herunterfallende Draht ist natürlich alsdann stromlos und kann elektrisch keinen



Fig. 141.

Schaden mehr anrichten. Diese Konstruktion hat sich durch di naturgemässe Schwerfälligkeit bis heute noch nicht eingebürgert.

Ähnliche Konstruktionen zeigen die folgenden Figuren 138, 13 140, 141, bei denen der Draht beim Reissen wohl stromlos wird aber nicht herunterfällt.

Eine durch den Bruch veranlasste Nachlassung der Horizontalspannung kann auch dazu benutzt werden, um den Strom momentan über eine äusserst kleine Bleisicherung kurz zu schliessen. Diese Bleisicherung liegt beim normalen Betriebe ausserhalb des Strombereiches und ist dadurch ein Versagen der Sicherung ausgeschlossen. Bei anormaler Stromstärke schaltet das Durchbrennen der sonst im Nebenschluss liegenden Bleisicherung den Betriebsstrom für die beschädigte Strecke aus.

Der Nachteil dieser Konstruktion ist, ausser den wesentlich höheren Anlagekosten der, dass die Isolation nicht durch grosse Luftwege unterstützt wird und dass diese Isolationen nicht unter sorgsamer Kontrolle stehen können, weil sie nur durch Leiterwagen erreichbar sind.

Erwähnenswert bleibt noch eine Sicherungsvorrichtung, welche eine gute Lösung der Sicherheitsfrage darstellen würde, wenn sie nicht die Anlage durch eine neue Drahtleitung beschweren würde. Das von der Stromquelle entfernte Ende des Fahrdrahtes ist durch eine Hilfsleitung mit dem Schienen-Pole der Stromquelle verbunden, sodass Fahrdraht und Hilfsdraht hintereinander geschaltet sind. In diese Hilfsleitung ist ein Ruhestrom-Elektromagnet eingeschaltet, welcher derartig wirkt, dass er den Fahrdraht selbstthätig unterbricht, d. h. von der Stromquelle abschaltet, sobald die Hilfsleitung stromlos wird, d. h. beim zerreissen der Haupt- oder Hilfsleitung.

Im Anschluss an den vorstehendenAbschnitt 13, a) bis h), werden in den beifolgenden zwei Tafeln die Oberleitungsteile der beiden grossen deutschen bahnbauenden Firmen Siemens & Halske sowie der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft, beide zu Berlin, zur Anschauung gebracht. Dem Leser werden nach Studium genannten Abschnittes die Verwendungsarten der einzelnen Teile geläufig geworden sein.

14. Die Schienenleitung.

Es ist üblich geworden, von einer Rückleitung des Betriebsstromes durch die Schienen zu sprechen, weil man gewöhnt ist, bei Gleichstromkreisen eine bestimmte Stromrichtung zu verfolgen. Da aber bei Bahnanlagen je nach den Verhältnissen die Schienenleitung sowohl den positiven als auch den negativen Pol führen kann, darf man von einer Schienenrückleitung im allgemeinen nicht sprechen. Auch verlangt die Anschauungsweise keineswegs eine solche Bezeichnung, denn die Wirkungen der Schienenleitung nach aussen, die hier nur in Betracht kommen, sind für die Praxis die gleichen bei Benutzung der Fahrschienen für positive als für negative Stromrichtung.

Für die Schliessung des Stromkreises dient sozusagen der gesamte Bahnkörper, vor allem natürlich das Gleis selbst. Da Gleis und Erdboden an dem gleichen Pol liegen, können dieselben jederzeit miteinander verbunden bleiben. Man hat sogar die wirksamsten Mittel angewandt, um Schiene und Erde mittels tiefer Erdplatten elektrisch gut miteinander zu verbinden.

Da aber aus Gründen, auf die in einem späteren Absatz näher eingegangen wird, die Erde nach Möglichkeit von der Teilnahme an der Stromführung ausgeschlossen werden soll, liegt es im Interesse des Bahnbauers, das Gleis selbst gut leitend herzustellen.

Die Leitungsfähigkeit der Schienen ist in Anbetracht ihres Querschnittes eine ziemlich hohe, mit Rücksicht aber auf die Laschenverbindung an den Stössen, welche mit der Zeit durch isolierende Rostschichten die rein metallische Oberfläche an den Berührungsstellen einbüsst, in ihrer Gesamtheit viel zu wünschen übrig lässt, hat man die besondere Verbindung der Schienenenden mittels kupfernen oder eisernen Bügeln bewirkt und sucht dadurch zugleich zu erreichen, dass die Erde für die Stromleitung möglichst nicht mitbenutzt wird.

Das Bestreben, mit den billigsten Mitteln das vollkommenste zu erreichen, hat prinzipiell zu drei verschiedenen Konstruktionen geführt.

Die erste Konstruktion war die bereits erwähnte mit den Erdplatten, wie Fig. 25 zeigt. Hier wird entweder jede einzelne Schiene, oder eine grössere Anzahl von Schienen mit einer metallischen Erdplatte verbunden. Diese Methode ist indes bei guter Ausführung die teuerste wegen der zumeist sehr tief zu verlegenden Erdplatten.

Die zweite Konstruktion ist charakterisiert durch einen in der Mitte des Gleises liegenden blanken Kupferdraht, welcher für jede Schienenlänge eine Abzweigung besitzt. Die Abzweigung ist an beliebiger Stelle mit der Schiene vernietet. Der Hauptvorteil dieser Anordnung ist der, dass ein auftretender Verbindungsfehler nicht für den Gesamtleitungswiderstand in Betracht kommt; als Nachteil ist zu bezeichnen, dass das Leitungsvermögen der Schienen nicht ausgenutzt wird, falls nicht eine Kombination mit der nachfolgenden dritten Konstruktion ausgeführt wird.

Die dritte und jetzt allgemein angewandte Verbindung wird bewirkt durch einen kurzen Kupfer- oder Eisendraht, welcher die Laschenlänge überragt und kurz vor und hinter der Lasche mit den Schienenenden vernietet wird, wie Fig. 142 zeigt, oder welche zwischen Laschen und Schienensteg angebracht wird, wie Fig. 143 zeigt. Diese letztere Anordnung schützt den Verbinder besonders gut und besitzt, da er nur kurz zu sein braucht, einen geringen Widerstand. Der Vorteil beider Konstruktionen ist der der Billig-

keit, jedoch wirkt eine fehlerhafte Verbindung auf den Wert des gesamten Widerstandes. Da aber die Erde durch die Berührung der Schienenoberfläche genügend Strom überleitet — man hat bis zu 40 % Erdstrom bei guter Schienenverbindung gemessen — so scheint dieser etwaige Fehler wenig auf sich zu haben; immerhin muss er durch die Güte der Konstruktion vermieden werden.



Fig. 142.

Die Verbindung der Schienen ein und desselben Gleises querüber erübrigt sich, da der Wagen selbst mit seinen Rädern und Achsen genügend Querverbindungen während des Betriebes schafft, dagegen empfiehlt es sich, zwei nebeneinander herlaufende Gleise ab und zu miteinander zu verbinden.

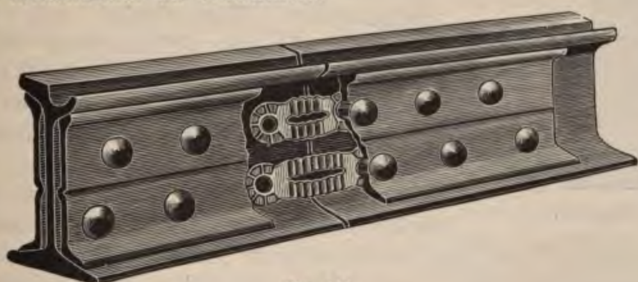


Fig. 143.

Man benutzt für die Verbindungen zumeist Kupferdraht. Neuerdings geht man auch dazu über, Eisendraht zu verwenden, um galvanische Vorgänge zwischen den verschiedenen Metallen zu verhindern.

Die Praxis muss es noch lehren, ob die Wahl des anzuwendenden Materials für die Schienenverbinder eine grosse Rolle spielt. Da nämlich die Metalle Eisen, Kupfer, Zink, Zinn u. s. w. in unmittelbarer Berührung, zum Teil unter Zutritt von salzhaltiger Feuchtigkeit stehen, ist die Annahme gerechtfertigt, dass hierbei Berührungselektrizität auftritt, deren dauernde Thätigkeit auf die Strukturverhältnisse der Berührungsflächen einen schädlichen Einfluss ausüben wird.

Da Kupfer beim Nieten spröde wird und deshalb leicht abbricht, ist es zweckmässig, wenigstens die Nietenden aus Eisen herzustellen. Es hat sich daher folgende Konstruktion eingebürgert:

Die etwas konischen oder cylindrischen verzinnten Eisenstöpsel sind fest mit dem Kupferdraht verlötet, werden durch das mittels Reibahle blank aufgeriebene Loch des Schienensteges gesteckt und vernietet. (Fig. 144.)



Fig. 144.

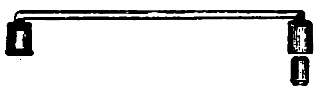


Fig. 145.

Eine gute, aber teure Konstruktion des Schienenverbinders ist die folgende:

Durch den Stöpsel (Fig. 145) wird die Wandung der Hülse äusserst fest und innig an die Schienenlochwandung angepresst.

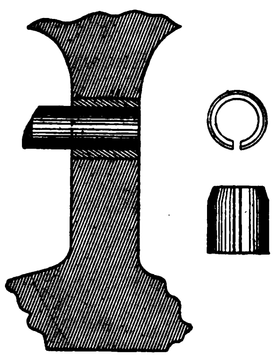


Fig. 146.

Eine einfachere und billigere Verbindung (Fig. 146) wird durch eine stählerne Klemmbuchse bewirkt, welche aus einem kurzen, an einem Ende zugeschärften Stückchen Stahlrohr besteht. Das Röhrchen ist aufgeschnitten und umschliesst, wenn zusammengedrückt, den verbindenden Kupferdraht mit starker Pressung. In den Schienensteg wird nun ein Loch gebohrt, das genau die Weite hat, wie der Umfang des zusammengedrückten Ringes. Das Ende des Kupferdrahtes wird zunächst durch das Loch gesteckt, sodass es um die Länge des Klemmringes auf der anderen Seite hervorragt; dann setzt man den Klemmring auf das durchgesteckte Ende und zwar so, dass sein zugeschärftes Ende dem Loche zugekehrt ist. Darauf treibt man den Ring mit dem Hammer in das Loch, wobei das durchgesteckte Ende des Kupferdrahtes zurückgenommen und unter starkem Druck in das Bohrloch gebracht wird.

Über die Länge der Schienenverbinder lässt sich nur noch weniges sagen.

Bei dem fest unterstopften Schienenstoss der Schwellenschiene kann der Verbinder so kurz sein, dass er die Lasche überragt und für die Ausdehnung der Schiene genügend Beweglichkeit gestattet, indem die Verbindungslinie der Nietlöcher eine entsprechende Kurve bildet.

Bei dem Vignolschienenoberbau auf Querschwellen ist darauf zu achten, dass der meist schwebende Stoss beim Überfahren des Rades nicht durch seine Beweglichkeit in vertikaler Richtung den

Schienenverbinder löst oder bricht. Man muss hier die Regel aufstellen, dass die Nietung des Verbinders an einer fest unterstützten Stelle des Gleises, bezw. der Schiene stattfinden muss, d. h. also über der Schwellenmitte.

Dass man den Verbinder aus Rücksicht auf die Billigkeit desselben und auf die Widerstandsverringerung des gesamten Gleises möglichst kurz zu machen versucht, ist selbstverständlich.

Gelegentlich der Chicagoer Weltausstellung wurden Maschinen zum Zusammenschweissen der Schienenlängen am Verlegungsorte selbst vorgeführt. Seit jener Zeit haben die Amerikaner die verschiedensten Nutzanwendungen dieser Maschinen versucht.

Die Vorteile, welche ein stossloses Gleis allen Bahnen bringt, sind seit Beginn des Eisenbahnbaues andauernd erstrebt worden. Die Erreichung dieses Zieles trat in ein neues Stadium, als man begann, vom freiliegenden Oberbau auf den im Strassenpflaster eingebetteten Oberbau überzugehen, was beim Bau der Strassenbahnen geschah. Durch geschweisste Schienen würde man die besonderen Schienenverbinder entbehrlich machen und mit ihnen einen Teil der Unterhaltungskosten, denn die Ausbesserung eines im Pflaster liegenden Schienenverbinders ist durch die entstehenden Nebenarbeiten verhältnismässig kostspielig. Bei freiliegendem Oberbau, also bei Bahnen mit eigenem Bahnkörper, ist die Wartung und Reparatur des Schienenverbinders einfach auszuführen, sodass hier das Bedürfnis einer stosslosen Schiene für die Fortleitung des elektrischen Stromes weniger stark ins Gewicht fällt.

In Amerika hat man nunmehr mit Erfolg begonnen, die Fahrschienen an den Stössen elektrisch zu verschweissen. Diese Verbindungsstellen sind, wenn sie gut geschweisst sind, ebenso fest, wie die Schiene selbst. Dadurch wird erreicht, dass die spezifische Zugfestigkeit des verlegten Gleises so gross ist, dass die durch die Temperaturunterschiede bewirkten Spannungsdifferenzen von dem Material in sich selbst aufgenommen werden, ohne das Gleis seitlich oder vertikal zu verbiegen.

Als Vorteile der stosslosen Schiene für den elektrischen Strassenbahnbetrieb mögen hier angeführt sein:

1. Geräuschloserer Gang der Wagen.

2. Schonung der Motoren durch Wegfall der harten, vertikalen Stösse.

3. Sanfteres, weniger nervenerschütterndes Fahren.

4. Gleichmässige Beanspruchung der Schienenbettung an allen Stellen des Gleises und infolgedessen auch grössere Haltbarkeit der Schiene.

5. Erzielung einer absolut festen Bettung, welche bekanntlich bis heute an den Schienenstössen noch nicht erreichbar geworden ist.

6. Denkbar beste Rückleitung für den elektrischen Strom.

7. Die Möglichkeit, Asphaltbeton für die isolierte Verlegung der Schiene anwenden zu können, da der spezifische Druck nicht den hohen Wert erreicht, als bei den durch Laschen verbundenen Schienenstössen, wobei allerdings vorausgesetzt werden muss, dass Asphaltbeton der spezifischen Beanspruchung überhaupt gewachsen ist, die man im allgemeinen an die Bettung stellen muss.

Es verlohnt sich, unter diesen verlockenden Aussichten die Gründe zu erforschen, welche uns bisher abgehalten haben, der stosslosen Schiene Vertrauen zu schenken.

Bei Betrachtung des Ausdehnungskoëffizienten für Eisen ($^1/_{100000}$) ergiebt sich, dass 1 *km* Gleis bei 1° C. sich um 0,010 *m* verlängert bezw. verkürzt, d. h. dass bei dem Temperaturgefälle von + 30° C. bis — 20° C. = 50° die Verlängerung bezw. Verkürzung 0,50 *m* beträgt.

Aus der folgenden Rechnung ist ersichtlich, dass diese Molekularbewegung der Schiene thatsächlich nicht eintreten kann, da die Festigkeit der Schiene dem durch die Temperatur hervorgerufenen Spannungsunterschied Widerstand entgegensetzt. Bedingung hierfür ist allerdings, dass die Schweissstelle dieselbe Festigkeit besitzt wie die gewalzte Schiene, bezw. wie die durch die Temperatur bedingte veränderte Spannung der Schiene. Bildet die Schiene eine in sich geschlossene Kurve, so werden besondere Verankerungsfundamente überflüssig. Wie stark die Verankerungen für Schienen mit freiem Ende sein müssen, zeigt die Rechnung.

Ob das in unseren Gegenden herrschende Temperaturgefälle von 50° C. auf die im Pflaster liegenden Strassenbahnschienen übertragen wird, steht ausserdem sehr dahin, da nur die Lauffläche der Schiene der erwärmenden Luft bezw. den direkten Sonnenstrahlen ausgesetzt ist, während die übrige Oberfläche von Wärme ausgleichendem Material (Pflaster, Erdboden, Feuchtigkeit) umgeben ist.

Über die zu verwendenden Schweissverfahren, Stromstärken und Apparate hat Köstler in seinem Werke »Über nordamerikanische Strassenbahnen« auf S. 72 ff. eingehend berichtet.

Die nachfolgende kurze Rechnung möge zeigen, dass geschweisste Schienen möglich sind.

Das für Schienen verwendete Material besitzt eine absolute Festigkeit von 5000 *kg/qcm*. Der Elastizitätsmodul beträgt 2000000 *kg/qcm*. Der Temperaturkoëffizient = 0,001079 = $^1/_{927}$ für 100°. Die Ausdehnungs- bezw. Zusammenziehungskraft einer Schiene bei Temperaturveränderung von t° C. ist $P = \alpha \cdot E \cdot t \cdot F$, worin bedeutet:

α = (Ausdehnungs-)Temperaturkoëffizient für 1° = 0,00001079.
E = Elastizitätsmodul = 2 000 000.
F = Schienenquerschnitt in *qcm*.

Das Temperaturgefälle ist in unserer Gegend von — 20 bis + 30° C. = 50° C. Ein übliches Phönixprofil wiegt 40 *kg/m* Schiene. Deren Profil hat demnach einen Querschnitt von 129 × 40 = 5160 *qmm* = 52 *qcm*.

Die Schiene würde, wenn dies überhaupt möglich wäre, um 100% ihrer eigenen Länge ausgedehnt durch

$$2\,000\,000 \times 52 = 104\,000\,000 \; kg.$$

1° C. Temperaturabnahme verändert die Länge der Schiene um 0,00001079 ihrer ursprünglichen Länge. 50° C. verändern sie um 0,0005395 ihrer Länge. Die Ausdehnungs- bezw. Zusammenziehungskraft ist für 50° $P = \alpha \cdot E \cdot t \cdot F$.

$$P = 0{,}0005\,395 \cdot 104\,000\,000 \; kg = 56\,100 \; kg.$$

Die absolute Festigkeit beträgt bei 52 *qcm* Querschnitt 52 × 5000 = 260000 *kg*, mithin wird die Schiene mit einer Sicherheit von $\frac{260000}{56100} = 4{,}6$ beansprucht, wenn das gesamte Temperaturgefälle auftritt. Hiermit ist erwiesen, dass die Schiene noch innerhalb ihrer Elastizitätsgrenze beansprucht wird und mithin immer wieder in ihre jedem Temperaturgrade entsprechende Länge zurückgeht.

Es erübrigt noch zu betrachten, wie sich das Gleis bezw. die Schiene zu der ursprünglichen Lage verhält.

In der Geraden spricht das Gewicht der Schiene und der Reibungskoëffizient zwischen Schiene und Bettungsmaterial mit.

Das Gewicht für 1 *m* Schiene beträgt 40 *kg*. Der Reibungskoëffizient der Ruhe werde mit 0,5 angenommen, eine Zahl, die durch genauere Versuche noch festzustellen ist. Demnach würden für 1 *m* Schiene 20 *kg* Zugkraft erforderlich werden, um dieselbe von der Stelle zu bewegen. Daraus ergiebt sich, dass eine in gerader Linie verlegte Schiene erst in einer Entfernung von $\frac{56100}{20} = 2805$ *m* vom Endpunkt entfernt, durch ihr blosses Eigengewicht verankert wird, d. h. bei Strassenbahnen praktisch unbrauchbar.

In Wirklichkeit jedoch liegen die Verhältnisse günstiger, da zu diesem Eigengewicht der Schiene das ganze Gewicht des den Spurstangen bezw. bei freiliegendem Vignolschienenoberbau den Schwellen, mit denen die Schiene so verbunden ist, dass Längsverschiebung der Schwellen in Richtung der Schiene nicht auftreten kann, vorgelagerten Erdreiches und Pflastermaterials als Fundament dient.

Das spezifische Gewicht von Sand, Kies, Steine soll mit 2 angenommen werden. Das fortzuschiebende Erdreich (Fig. 147) sei $x \cdot y \cdot 1$ *cbm* für 1 *m* Länge, d. h. wenn $y = 15$ *cm* angenommen wird:

	Breite	Höhe	Länge	*kg*	
bei Normalspur	1,4	0,15	1	2000	= 420 *kg*
» Meterspur	1,0	0,15	1	2000	= 300 »
» 60 *cm* Spur	0,6	0,15	1	2000	= 180 »

Der Reibungskoëffizient zwischen den schiebenden Erdmassen, bezw. zwischen dem Pflaster und seiner Schotterunterlage und zwischen Feinschotter und Grobschotter dürfte zwischen 0,75 und 1 liegen, mitunter sogar dürfte die Reibung überhaupt keine Rolle spielen, da die Steinschlagschichten ineinander greifen und somit Abscheerfestigkeit in Frage kommt.

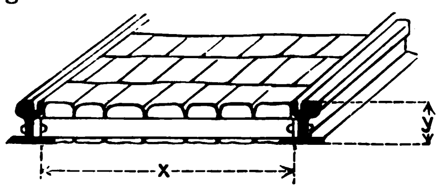


Fig. 147.

Nur mit $y = 0{,}75$ gerechnet, ergiebt folgende Fundamentlasten:

bei Normalspur . . $420 \cdot 0{,}75 + 20 = 335$ *kg/m*,
» Meterspur . . $300 \cdot 0{,}75 + 20 = 245$ »
» 60 *cm* Spur . . $180 \cdot 0{,}75 + 20 = 155$ » ,

woraus sich ergiebt, dass die Verankerungsfähigkeit des Gleises beginnt bei einer Entfernung vom Endpunkt

bei Normalspur . $2 \times 56100 \times {}^1/_{335} = 335$ *m*,
» 1 *m* Spur . . $2 \times 56100 \times {}^1/_{245} = 458$ »
» 60 *cm* Spur . $2 \times 56100 \times {}^1/_{155} = 724$ ».

Es wird nun ein Leichtes sein, dem letzten Ende des Gleises entweder durch Einfügung eines Betonklotzes oder durch Einlassen eines Eisenpfahles in den Erdboden oder durch Abbiegen einer Schiene nach unten und Vorlage einer grösseren Fläche gegen das zu verschiebende Erdreich ein entsprechendes Widerlager zu geben.

Um z. B. den Maximalzug von 56100 *kg* in einem Betonklotz abzufangen, ist es erforderlich, demselben einen Inhalt von $56100 = x^3 \cdot 2000$; $x^3 = 28$; $x = 3$ *m* $= 28$ *cbm* zu geben. Hierbei wird angenommen, dass kein Gegendruck des Erdreichs stattfindet. Unter dessen Berücksichtigung stellt sich jedoch diese Verankerung so, dass grosse Kosten nicht entstehen.

Die Verhältnisse in der Kurve gestalten sich folgendermassen:

Die grösste Beanspruchung tritt bei dem kleinsten Kurvenradius auf, wenn die Kurve am weitesten herumgeführt wird, d. h. im allgemeinen bei einer Viertelkreiskurve.

Somit sei hier als geringster Kurvenradius 15 *m* angenommen. Die Resultante der Zugkräfte (Fig. 148) ist $R = 2 \cdot z \cdot \sin 45^0 = 2 \cdot 56100 \cdot 0{,}7$; $R = 78500$ *kg*.

Das wirksame Widerlager wird gebildet aus der Fläche: Schienenhöhe 150 *mm*, Schienenlänge = ca. $^1/_6$ Kreis $= {}^1/_6 \cdot 2 \cdot 15 \cdot \pi = 14{,}2$ *m*,

$$14{,}2 \cdot 0{,}15 = 2{,}13\ qm = 21\,300\ qcm.$$

Mit dieser Fläche wird ein Druck auf das Erdreich ausgeübt mit einer spezifischen Pressung von

$$\frac{78\,500}{21\,300} = 3{,}7\ kg/qcm.$$

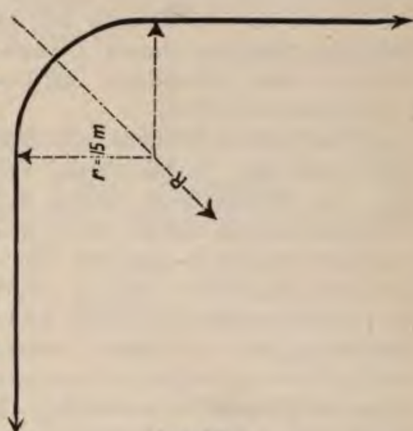


Fig. 148.

Man ersieht aus Vorstehendem, dass es sich hier immer nur um Beanspruchungen handelt, die unseren allgemeinen Konstruktionsbedingungen nicht zuwiderlaufen.

Der Gedanke einer kontinuierlichen Schiene ohne irgendwelche Vorkehrung für Längenänderungen infolge von Temperaturdifferenzen ist so sehr im Widerspruch mit allen Traditionen der Eisenbahntechnik, dass Fachleute sich damit nicht leicht befreunden können. Die Praxis hat hier wieder einmal das Gegenteil von dem bewiesen, was man der bisher herrschenden Theorie nach erwarten konnte; denn so verlegte Schienen haben sich weder gekrümmt, noch sind übermässig viele Brüche vorgekommen.

Der erste Versuch einer kontinuierlichen Schiene ist von Philip Noonan in Lynchburg gemacht worden. Die Schienen auf einer 5 *km* langen Strecke einer Vollbahn wurden ohne Zwischenraum an den Stössen durch heiss vernietete Laschen fest verbunden. Nachdem diese Strecke ohne jede Schwierigkeit mehrere Jahre im Betrieb gewesen war, entschloss sich im Jahre 1892 die Johnson Co. einen Versuch mit fest verbundenen Schienenstössen zu machen. Auf einer 350 *m* langen Strecke wurde die eine Seite in der gewöhnlichen Weise, die andere mit mechanisch vollkommen starren Laschenver-

bindungen verlegt. Die Temperatur schwankte während der Zeit der Beobachtung zwischen — 12 und + 32° C. und trotzdem wurde weder eine longitudinale Verschiebung, noch eine Krümmung der Schiene beobachtet. Nachdem die Möglichkeit der kontinuierlichen Schiene auf diese Weise festgestellt war, wurde im folgenden Jahre eine 5 *km* lange Strecke mit elektrisch geschweissten Schienenstössen in Johnstown hergestellt. Im folgenden Winter (1893/94) rissen etwa 6 % der Schweissstellen, was auf einige Unvollkommenheiten in der Anwendung der elektrischen Schweissmaschine zurückgeführt wurde. Nachdem die nötigen Verbesserungen gemacht waren, wurden geschweisst in St. Louis 10 *km* Gleise, Cleveland 8 *km*, Brooklyn 50 *km*. In allen diesen Fällen wurde die Verbindung der Schienen durch seitlich angeschweisste Laschen hergestellt und wo Brüche vorkamen, waren dieselben nicht in der Lasche oder Schweissstelle, sondern in der Schiene knapp hinter der Schweissstelle eingetreten. Der Grund für die Brüche ist wahrscheinlich ungleichmässige Abkühlung, und um diesen Übelstand zu beheben, werden jetzt die Schienen ohne Anwendung von Laschen an ihren Stossfugen einfach zusammengeschweisst.

Eine andere Methode, die Schienenverbindung herzustellen, besteht nach dem Verfahren der Falk Manufacturing Co. darin, dass man die Stossstelle zu beiden Seiten mit Gusseisen umgiesst. Die Schienen werden auf 20 *cm* von ihren blank geschmirgelten Enden von einer Gussform umgeben und das Metall wird aus einem kleinen fahrbaren Kupolofen einfach eingegossen. Der Wind für den Ofen wird durch einen Ventilator und Motor von 5 PS (der von der Fahrleitung aus mit Strom versorgt wird) geliefert. In der Stunde werden 13—14 Schienenstösse ausgegossen, und es sind für jeden Guss 60 *kg* Metall erforderlich. Das Metall fliesst auch durch die zwei Löcher in jedem Schienenende, so dass die gusseisernen Laschen zu beiden Seiten der Schiene durch vier Zapfen zusammenhängen. Die Verbindung zwischen Schiene und Gusseisen soll eine sehr innige sein und mit einer richtigen Schweissstelle Ähnlichkeit haben. Die erste Anwendung dieses Systems wurde in Milwaukee 1894 gemacht. Im darauffolgenden Winter brachen 0,43 % der Verbindungen; der Unterschied zwischen der höchsten und niedrigsten Temperatur war dabei 62° C. Seitdem wurden nach demselben System in Chicago über 20000 und in anderen Städten 6000 Verbindungen mit gutem Erfolg hergestellt.

Das sind Resultate, auf denen die Praxis weiter bauen kann.

Wenn wir mit unseren zur Zeit in Europa noch herrschenden Verhältnissen rechnen, so gestaltet sich bei Anwendung einer elektrischen Schienenverbindung, wie dieselbe Fig. 149 zeigt, der Schienen-

widerstand eines verlegten Gleises bei Anwendung von 12 *m* langen Schienen und 40,2 *kg* Schienengewicht f. d. m. folgendermassen:

Die Laschen werden zur Leitung mitbenutzt und besitzen das gleiche Gewicht wie die Schiene auf gleiche Länge.

Jeder Schienenstoss erhält vier Schienenverbinder V aus Eisen, von denen je zwei Stück hintereinander und je zwei parallel geschaltet sind. Die Schienenverbindungen sind 10 *cm* lang und haben 50 *qmm* Querschnitt.

1000 *m* dieser Schiene von 40,2 *kg*/*m* Gewicht besitzen einen Widerstand von $\frac{0,853}{40,2} = \mathbf{0,0212}\ \Omega$.

Es werden für 1 *km* Schiene

$\frac{1000}{12} = 83,33$ Schienenverbindungen von $2 \times 10 = 20$ *cm* Länge und $2 \times 50 = 100$ *qmm* Querschnitt gebraucht, daher ist der Widerstand der Schienenverbinder $= \frac{0,11 \cdot 16,666}{100} = 0,0183\ \Omega$ für 1 *km* Schiene.

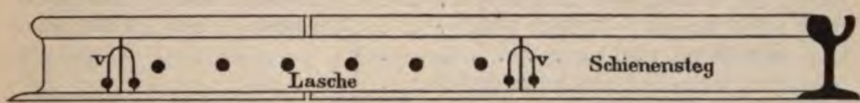


Fig. 149.

Mithin ist der Gesamtwiderstand:

einer Schiene	von 1000 *m* Länge $= 0,0212 + 0,0183 =$	$0,0395\ \Omega$
eines Gleises	» » » » . . . . $=$	$0,01975\ \Omega$
eines Doppelgleises	» » » » . . . . $=$	$0,00987\ \Omega$

Bei Anwendung kupferner Schienenverbinder wird der Widerstand:

einer Schiene	von 1000 *m* Länge $= 0,0212 + 0,003 =$	$0,0242\ \Omega$
eines Gleises	» » » » . . . . $=$	$0,0121\ \Omega$
eines Doppelgleises	» » » » . . . . $=$	$0,00605\ \Omega$

Trotz bestangewandter Schienenverbinder wird jedoch in den Gleisen, entsprechend ihrem Ohm'schen Widerstande, ein Spannungsabfall auftreten, der genügt, um zwischen zwei voneinander entfernten Punkten der Schienenleitung ein genügend grosses Potentialgefälle zum Abirren von Stromteilen durch Erdschichten geringeren Widerstandes zur Verfügung zu stellen. Um nun ein Mitleiten des Erdbodens nach Möglichkeit zu verhindern, hat man nach Bettungsmaterialien gesucht, welche eine Isolierung der Fahrschienen ermöglichen.

Die für Pflasterarbeiten verwandten Materialien, Cement, Beton und Asphalt kommen hierfür zunächst in Betracht.

Über die elektrische Leitungsfähigkeit von Cement, Cementbeton und Asphaltbeton hat Dr. St. Lindeck eingehende Messungen angestellt und deren Resultate in der ETZ 1896, Heft 12, S. 180 ff., niedergelegt.

Ein Auszug aus diesen Versuchen folgt hier in Form von Durchschnittszahlen.

Die Messungen erfolgten bei 17° C. Die Messstücke waren 10 *cm* lang, 10 *cm* breit und 10 *cm* hoch mithin

$$\text{Widerstand in Ohm für } 1 \frac{\text{dm}}{\text{dm}^2}.$$

	Material	Die Blöcke waren vorher 5 Stunden lang auf 100° C. erhitzt worden	Im lufttrockenen Zustande	Im feuchten Zustande	
1.	reiner Rüdersdorfer Cement	1500	450	350	Ohm
2.	1 Teil Cement — 3 Teile Sand	500000	1400	500	Ohm
3.	1 Teil Cement — 5 Teile Kies	2500000	4000	2500	Ohm
4.	1 Teil Cement — 7 Teile Kies	3500000	5000	4000	Ohm
5.	50 % Steinklarschlag . . . . 20 % lehm- und sandfreier Grobkies . 12 % Asphaltmastix . . . . 8 % Steinkohlentheerpech . . . . . 10 % deutscher Steinkohlentheer . . . NB. Diese Mischung ist unter dem Namen Asphaltbeton bekannt geworden.	—	280000	160000 Im durchnässten Zustand 170000	Megohm

Legt man einer Überschlagsrechnung für den Übergangswiderstand eines auf Cementbeton verlegten Gleises gegen Erde den Widerstand von 5000 Ω im lufttrockenen Zustande zu Grunde, so kommt man für die Länge von 1 *km* auf Beträge, die unter 1 Ω liegen.

Mit Cement und Cementbeton ist also eine isolierende Gleisunterlage nicht zu erreichen. Dagegen stellt sich die Angelegenheit günstiger bei Verwendung von Asphaltbeton, welches für Wasser praktisch undurchlässig ist.

Es ist somit wahrscheinlich, dass unter Verwendung von Asphaltbeton das Gleis sich dauernd gegen Erde so gut isolieren lassen würde, dass Erdströme von Belang nicht mehr entstehen können. Der Asphaltbeton wäre dabei auf den Cementbeton in einer verhältnismässig dünnen Schicht aufzubringen, wodurch die Herstellungskosten erschwinglich werden könnten. Hierbei ist jedoch die eine Frage noch nicht gelöst, ob der Asphaltbeton die spezifisch hohe

Druckbelastung unter den Schienen aushält. Darüber muss uns noch die Zukunft aufklären, denn bekanntlich hält bis jetzt noch kein Schienenstopfmaterial auf die Dauer fest.

Die Anwendbarkeit müsste erst durch den Betrieb während längerer Zeit bewiesen werden. Insbesondere wäre zu zeigen, dass die Asphaltbetondecke auch hinreichend haltbar ist und nicht etwa infolge von Witterungswechsel oder Erschütterungen Risse bekommt. Vielleicht wäre damit ein Fortschritt in dieser Frage zu erreichen, wenn man den Schienenfuss bedeutend breiter wählt, um dadurch einen geringeren spezifischen Druck auf die isolierende Unterlagsschicht zu erreichen. Wenn es auf diese Art möglich wäre, eine gute Isolation der Schiene gegen das Erdreich zu erzielen, so dürfte es nicht unwahrscheinlich sein, dass Pferde, die beim Überschreiten der Gleise mit einem Fusse auf der Isolierung, mit einem andern auf dem gewöhnlichen Pflaster stehen, Schaden leiden oder scheu werden. Erfahrungsmässig sind Pferde gegen elektrische Ströme ungemein empfindlich.

Ob durch die Bestimmung in dem britischen Gesetz, »dass der Spannungsabfall in den Schienen nicht mehr als 6 Volt betragen darf«, eine für Pferde ungefährliche Spannung erreicht wird, ist durch Versuche noch nicht bewiesen worden. Es stellen sich uns also auf diesem Gebiete noch recht viele ungelöste Fragen entgegen.

15. Erdstrom- und Induktionsstörungen, sowie elektrolytische Einflüsse auf metallische Erdrohre.

Die Störungen, welche die Starkstromanlagen einer elektrischen Bahn auf die benachbarten Schwachstromanlagen und auf etwa in der Nähe befindliche mit elektrischen und magnetischen Messungen beschäftigte Institute ausüben können, sind zweifacher Art.

Zunächst kann eine fernwirkende Induktionsstörung durch den Stromkreis der Bahnanlage in Betracht kommen.

Bei allen Starkstromanlagen mit direkter Stromzuführung und Fernleitung giebt der geschlossene Stromkreis Gelegenheit zur Bildung von Induktionsströmen. Bekanntlich übt jeder stromführende Leiter auf eine beweglich aufgehängte, vom Erdmagnetismus gerichtete Magnetnadel eine ablenkende Kraft aus, deren Grösse nur von der Intensität des Stromes, von der Ausdehnung und von der Entfernung des Leiters abhängt. Sie ist proportional der Stromstärke bezw. dem Stromstoss und indirekt proportional dem Quadrate der Entfernung des Leiters.

Sind zwei parallele Leiter vorhanden, in denen die Ströme gleich und entgegengesetzt gerichtet sind, so heben sich bekanntlich

die ablenkenden Wirkungen desto vollständiger auf, je näher die Leiter aneinander liegen und je grösser ihre mittlere Entfernung von der Magnetnadel ist.

Da wir bei elektrisch betriebenen Bahnen entweder mit der unterirdischen Stromzuführung — wie in Budapest angewandt — oder mit der oberirdischen Stromzuführung nach dem Einfahrdrahtsystem — wie in den meisten anderen Fällen in Anwendung gebracht — zu rechnen haben, so folgt aus dem vorstehenden Satze, dass bei den dicht bei einander liegenden stromführenden Leitern der unterirdischen Stromzuführung nennenswerte Störungen aus dieser Ursache nicht in Frage kommen können, und dass bei dem oberirdischen System, woselbst die Entfernung des Fahrdrahtes — als der eine Stromleiter — und der Schienen — als der andere Stromleiter — 5—6 *m* beträgt, nur in den allerseltensten Fällen in Betracht zu ziehen ist. Die Art und Grösse der Störung lässt sich mit ziemlicher Sicherheit durch Rechnung ermitteln und ergiebt fast immer Grössen, die durch die feinsten Messinstrumente kaum noch konstatiert werden dürften.

Ausser dieser Wirkung paralleler Leiter kommt bei den Strassenbahnen die durch den Wagen nahezu senkrecht geführte stromführende Verbindung der beiden Zuleitungen in Betracht. Aber auch diese Wirkung ergiebt sich rechnungsmässig als so schwach, dass man alle Störungen, welche durch die direkte Wirkung der Leiter veranlasst werden könnten, als unwesentlich bezeichnen darf.

Als ein besonders ungünstiger Fall für schädliche Induktionswirkungen ist aber die häufig notwendige Führung nur eines Stromleiters, des sogenannten Speiseleiters anzusehen. Man ist gewöhnt, mit den Speiseleitungen den nächsten Weg bis zur Verbrauchsstelle einzuschlagen und benutzt, um an Kupfermaterial zu sparen, nur eine Leitung, während die Schienen für die andere Leitung ausgenutzt werden. Vorausgesetzt ist natürlich hierbei, dass die Schienen bis an die Klemmen der Dynamomaschine geführt werden, d. h. dass die Wagenhalle mit der Kraftstation vereinigt ist. Es kann hier der Fall eintreten, dass z. B. eine Telegraphen- oder Telephonleitung so nahe dem Speisekabel parallel läuft, dass dessen Wirkungskreis nicht durch die ausgleichende Wirkung der Schienenleitung beeinträchtigt wird, und somit Induktionsströme in der Schwachstromleitung hervorruft.

Ebenso kann eine örtlich ungünstig liegende Magnetnadel von dem Speisekabel merkbar beeinflusst werden. Es wird indessen zumeist möglich sein, diese Beeinflussungen, sofern sie überhaupt schädlich sind, durch eine örtliche Verlegung des einen oder anderen zu umgehen.

Alle durch Induktion hervorgebrachten Störungen stehen in Wahrheit nur auf dem Papier oder in der Einbildung des Gestörten oder treten in der Praxis wesentlich hinter diejenigen Störungen zurück, welche durch die Erdströme erzeugt werden. Die Bestrebungen der Neuzeit richten sich daher nur darauf, Konstruktionen zur Verminderung, sowie Methoden zur Abschwächung der Ursachen und Wirkungen von Erdströmen ausfindig zu machen.

Diese zweite und hauptsächlichste Ursache von Störungen ist also bedingt durch das Auftreten von Erdströmen, wenn, wie beim oberirdischen System, die Schienen zur Stromleitung ausgenutzt werden.

Es ist erfahrungsmässig, dass das unter dem Bahnkörper liegende Erdreich an einzelnen Stellen der Bahnlinien verschiedene elektrische Spannung annimmt und dass die Ausgleichung derselben nicht allein durch die Schienen, sondern auch durch den mehr oder weniger gut leitenden Erdboden erfolgt. Es entstehen dann die sogenannten Erdströme, deren Stärke und Verlauf durch vorherige Rechnung nicht ermittelt werden können, da die bedingenden Ursachen von dem jeweiligen Zustande des Bahnkörpers und des Erdreichs, sowie von den schwankenden Witterungsverhältnissen abhängen. Die Erfahrung hat ausserdem gezeigt, dass Stärke und Verlauf dieser Erdströme, je nach den erwähnten Umständen, ausserordentlich verschieden sind, und gerade hierdurch erwächst der grösste Störungsgrad.

Gelangen diese Ströme in die Nähe empfindlicher elektrischer oder magnetischer Apparate, zu welch letzteren die Telephone zu rechnen sind, so können unerwünschte Störungen in diesen auftreten, und man hat das Bestreben, bei der Anlage und bei dem Betrieb der elektrischen Bahn mit oberirdischer Leitung diese Störungen zu vermeiden, beziehungsweise nach Möglichkeit abzuschwächen.

Nach den beim ersten öffentlichen Auftauchen dieser Frage gemachten Vorschlägen von Gisbert Kapp und Dr. O. Frölich soll man die im Erdreich vagabondierenden Ströme an bestimmten Punkten dadurch unschädlich machen, dass die die wissenschaftlichen Instrumente störenden Ströme zugleich das Gegengift sind, um die Wirkungen wieder aufzuheben. Es soll dies erreicht werden, indem das gefährdete Instrument sowohl unterhalb als auch oberhalb vom Erdstrom umflossen wird. Zu diesem Zwecke soll über das Institut ein metallisches Netz gezogen werden, welches vor und hinter dem Gebäude an tiefe Erdplatten angeschlossen ist. Der Widerstand des Metallnetzes ist dabei so zu wählen, dass die Erdströme gleich den Netzströmen sind, wodurch die umfliessenden Stromstärken einander gleich werden und ihre ablenkenden Wirkungen sich aufheben.

Den Vorschlag, die Bahn so zu situieren, dass Störungen auf ein praktisch zulässiges Mass herabgemindert werden, muss man in das Bereich der Theorie verweisen, da es in der Praxis darauf ankommt, eine durch Verkehr und Bedürfnis bestimmte Trace für die Bahn zu verfolgen und nicht den Sonderinteressen der Einzelnen zu dienen. Wohl kann man aber bei Anlage der Kraftstation beachten, dass die zu schützende Stelle stets ausserhalb des Strahlenbüschels liegt, welches von dem an die Erde angeschlossenen Pol des Bahnstromerzeugers mit dem einzelnen Punkte des stromführenden Gleises gebildet wird.

Neben den Störungen auf magnetische Apparate durch Erdströme haben die zerstörenden Wirkungen elektrischer Ströme auf unterirdische Metallröhren die Aufmerksamkeit der Fachkreise auf sich gezogen und zwar sind bezügliche Vorkommnisse besonders in Amerika wahrgenommen worden.

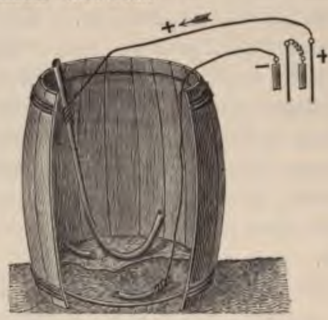


Fig. 150.

Bereits im Sommer 1891 brachte man in Erfahrung,[1]) dass einige mit Blei umhüllte, aus hölzernen Kanälen in Boston herausgenommene Telephonkabel an einzelnen Stellen sehr starke Korrosionen zeigten. Man schrieb diese Einwirkungen allgemein der in den hölzernen Kanälen sich bildenden Essigsäure zu, welche kurze Zeit vorher an einigen Kabeln in anderen Stadtteilen ähnliche Beschädigungen hervorgerufen hatte. In dem erwähnten Falle war jedoch die Korrosion so stark und nur auf einzelne Stellen beschränkt, dass man zu der Annahme gedrängt wurde, die Ursache in einer elektrolytischen Wirkung elektrischer Ströme zu suchen, welche von der Erdverbindung der in der Nähe vorübergehenden elektrischen Bahn herbeigeführt werden konnte. Andere ähnliche Vorkommnisse wiesen auf dieselbe Ursache hin. Angestellte Versuche, wobei man auf künstlichem Wege ein Bleikabel derartigen Einflüssen aussetzte,

[1]) Nach einem Berichte von Jesaiah H. Farnham im Western Electrician vom 28. April 1894, veröffentlicht in der ETZ.

bewiesen in der That, dass durch elektrolytische Wirkungen das Blei in ganz ähnlicher Weise wie in den bemerkten Fällen angegriffen wurde, sodass man daraus schliessen konnte, dass auch das Metall von Gas- und Wasserleitungsröhren solchen Einflüssen unterliegen müsse.

Man füllte zu dem Zweck ein Fass (Fig. 150) mit Strassenerde, nachdem man eine Metallplatte auf den Boden des Fasses gelegt hatte. Auf die Erde legte man zwei kurze Stücke Bleikabel nebeneinander. Die untere Platte wurde dann mit dem negativen Pole einer Akkumulatorenbatterie verbunden, welche 4 Volt Spannung ergab; eines der oberhalb liegenden Kabelstücke wurde mit dem positiven Pole der Batterie verbunden, während das zweite oberhalb liegende Kabelstück ausser elektrischer Verbindung blieb. Hierauf sättigte man die Erde mit Wasser und der Stromkreis wurde geschlossen. In dieser Weise liess man den Strom sieben Tage lang wirken. Nach Verlauf dieser Zeit zeigte sich, dass das mit der Batterie verbunden gewesene Kabelstück in seiner Bleiumhüllung in ganz ähnlicher Weise stark zerfressen worden war, wie die vorerwähnten Kabel, wogegen das andere, nicht in elektrischer Verbindung gewesene Kabelstück sich ganz unversehrt erwies.

Es wurden nunmehr Spannungs- und Strommessungen in allen Kabelgruben der betreffenden Stadt (Boston) vorgenommen, wobei es sich herausstellte, dass in einem Radius von etwa 600 *m* von der einen elektrischen Bahnstation alle Kabel sich zur Erde negativ verhielten, und zwar zwischen den Grenzen von 2 Volt bis Null; ausserhalb der neutralen Linie verhielten sich alsdann die Kabel von Null bis 12 Volt positiv zur Erde. Weiter hinaus, bis in die Nähe einer zweiten elektrischen Bahnstation, fand sich in gleicher Beziehung eine neutrale Linie, worauf bis an die Station die Kabel sich wieder negativ verhielten. Dieselben Verhältnisse wurden auch betreffs anderer elektrischer Bahnstationen gefunden. Um genügende thatsächliche Unterlagen zu erhalten, wurden Karten gezeichnet, auf denen für alle Stadtteile das Spannungsverhältnis der Kabel zur Erde, sowie zum Teil die Stromrichtungen und die Stromspannungen in den Kabelleitungen angegeben sind. Diese Potentialmessungen, welche allerdings zu anderen Zwecken vorgenommen wurden, lieferten nebenbei den Beweis, dass die elektrischen Bahnen durch ihre Erdströme als die Quelle jener störenden Vorkommnisse anzusehen sind.

Fig. 151 dient zur Illustration dieser Wirkungsweise; dieselbe zeigt den Übergang des Stromes von der Dynamo nach den Schienen und den teilweisen Übergang des Stromes von der Schiene nach dem darunter liegenden Bleikabel innerhalb der neutralen oder Nulllinie und von den Kabeln zu den Schienen ausserhalb dieser Nulllinie.

Die Gefahr elektrolytischer Wirkung findet nur da statt, wo der Strom vom Kabel oder vom Rohr durch feuchte Erde hindurchgeht.

Gegen diese erwähnten Übelstände sind nun einige Hilfsmittel in Vorschlag gebracht worden und auch teilweise zur Anwendung gelangt. Es wurden zu dem Zweck mehrere Konferenzen abgehalten, an denen sich die Eisenbahn- und Telephongesellschaften beteiligten, wobei die Gesellschaft der elektrischen Bahn zu Boston sich geneigt zeigte, das Übel an der Wurzel zu fassen, aber bei ihren Linien auf die Benutzung von Schienen und Erde als Teil des Stromkreises nicht verzichten konnte.

Es wurden ausserdem folgende Vorschläge gemacht:

1. Es sollen alle Kabel aus dem feuchten Boden und den feuchten Seiten der sogenannten Mannlöcher herausgenommen werden. Hierbei entstand aber die grosse Schwierigkeit, die Kabel überhaupt vor Erdfeuchtigkeit zu schützen.

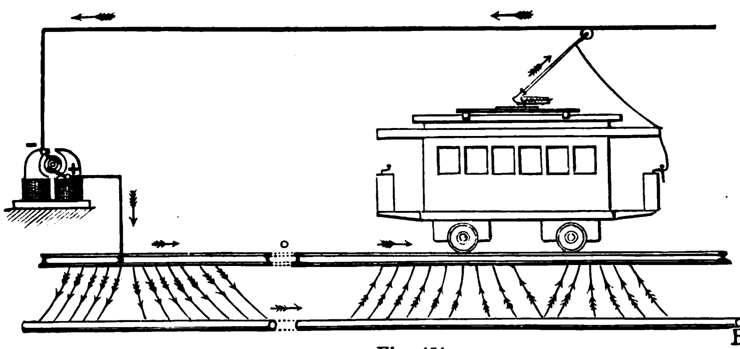


Fig. 151.

2. Man solle die Kabel in den Mannlöchern mit Erdplatten verbinden, um dadurch die elektrolytische Wirkung auf diese Platten zu übertragen und somit die Kabel zu schützen. Dieses Mittel wurde in ausgedehnter Weise versucht, aber obgleich viele Grundplatten von bedeutender Oberfläche durch einen grossen Teil der Stadt mit den Kabeln verbunden wurden, so ergaben doch die Spannungsmessungen zwischen den Kabeln und einer Erdstelle in geringer Entfernung von der Erdplatte in vielen Mannlöchern nahezu dieselbe Potentialdifferenz wie vor der Anbringung der Grundplatten. In manchen Fällen war allerdings die Potentialdifferenz um etwa 25 % vermindert worden; in vielen anderen Fällen zeigte sich aber keine bemerkenswerte Verminderung des Spannungsverlustes.

3. Wurde von Prof. Elihu Thomson unter anderen möglichen Hilfsmitteln vorgeschlagen, an verschiedenen Stellen längs der Eisen-

bahnstrecken Motorgeneratoren aufzustellen, wie dies durch Fig. 152 dargestellt ist, welche durch den Kraftstrom der Eisenbahn in Betrieb zu setzen wären; der von diesen Motoren gelieferte Sekundärstrom sollte dann mit Bezug auf die umgebende Erde oder die in der Nähe befindlichen Eisenbahnschienen zur Herabminderung des Potentiales in den Kabeln oder Röhren benutzt werden. Zugleich sollten dabei Einrichtungen zum selbstthätigen Anlassen und Anhalten der Generatoren, je nachdem die Kabel sich positiv oder negativ zu den Eisenbahnschienen verhielten, in Anwendung kommen. Diese Motorgeneratoren sollten sozusagen den Strom aus den Kabeln pumpen und in die Schienen pressen, sobald das Potential in den Kabeln in dem einen oder anderen Sinne über den Nullpunkt hinaus stiege. Dieser Vorschlag hat noch keine Ausführung gefunden, weil die Sache jedenfalls zu kostspielig ist und eine Rohrleitung von unendlich kleinem Widerstand voraussetzt. Diese Bedingung kann jedoch nie

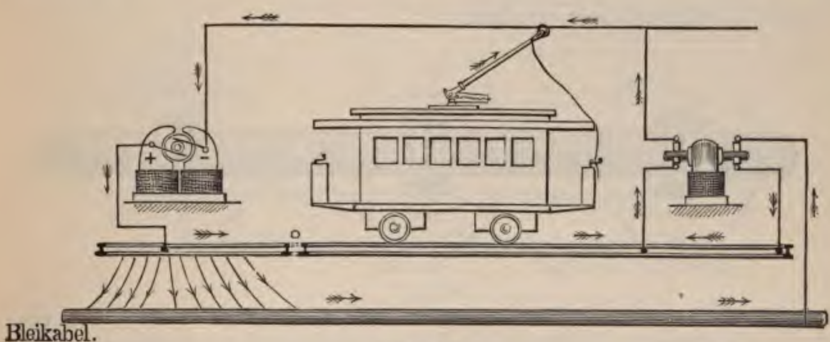


Fig. 152.

erfüllt sein, da die eine oder andere Rohrverbindung schlecht leitet. Auch entsprechen die Bleimäntel der Kabelleitungen und die Verbindungen der Kabel diesen Bedürfnissen nicht.

4. Es wurde vorgeschlagen, die Kabel und Röhren von der Erde zu isolieren. Da aber bei einigen Vorkommnissen starker Korrosion die betroffenen Kabel mit Asphalt angestrichen, mit Gewebstoff umwickelt und wieder asphaltiert, und schliesslich stark umsponnen und mit Asphalt getränkt worden waren, so ist dadurch der Beweis geliefert, dass eine für den Zweck genügende Isolation praktisch kaum erreichbar und zu kostspielig ist, um ausgedehnte Anwendung finden zu können. Der Schutz von Wasser- und Gasröhren durch genügende Isolation kann aber vom praktischen Standpunkte aus überhaupt nicht in Frage kommen.

5. Es wurde der Vorschlag gemacht, die metallische Kontinuität der Kabelumhüllungen und der Röhren zu unterbrechen. (Fig. 153.) Aus der Thatsache, dass starke Korrosionen oft an verhältnismässig gut isolierten Stellen, wo Kabel und Röhren sich überkreuzten oder in der Nähe von Eisenbahnschienen befanden, aufgetreten sind, ist zu ersehen, dass dieses an sich praktisch kaum ausführbare Mittel keineswegs seinen Zweck erfüllen würde.

6. Es wurde angeraten, die Richtung des Betriebsstromes der Eisenbahnen öfter zu wechseln, um dadurch die elektrolytische Wirkung periodisch umzukehren und somit ernstliche Wirkungen auf die Kabel und Röhren zu verhüten. Vom praktischen Standpunkte aus erscheint aber auch dieses Mittel in seiner Anwendungsweise als wenig zuverlässig, da man eine regelmässige Ausführung der Stromumkehrung kaum erwarten kann. Nur wenn Wechselströme für den Eisenbahnbetrieb benutzt werden könnten, dürfte die fragliche elektrolytische Wirkung auf Kabel und Röhren in bedeutendem Masse herabgemindert werden.

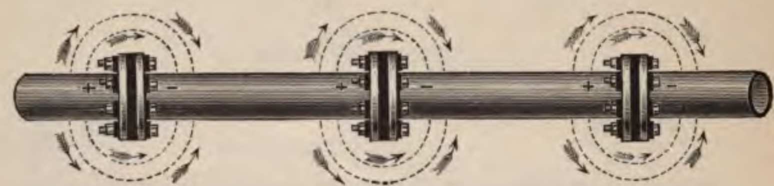


Fig. 153.

7. Während der Zeit, wo man sich mit dem Studium der vorliegenden Frage beschäftigte, wurden von Fred. S. Pearson, Ingenieur der Westend-Street-Railway zu Boston, zwei Vorschläge gemacht, die, obschon unter sich unabhängig, doch in Verbindung ausgeführt wurden und sich in der Beseitigung des vorliegenden Übelstandes als äusserst zweckmässig erwiesen, wenigstens betreffs der in Gefahr schwebenden Telephonkabel. Zuerst wurde von Pearson darauf hingewiesen, dass, wenn man den positiven Pol des Generators mit dem Gleitkontakte der Motorwagen verbinden könnte, die Gefahr der zerstörenden elektrolytischen Wirkung für den grösseren und verkehrsreicheren Teil der Stadt zu beseitigen und mehr in der Nähe der Kraftstationen zu bringen sein würde, wo man sie dann durch andere Mittel leichter als sonst zu beseitigen vermöge. Dieser Vorschlag wurde befolgt. Man kehrte den Betriebsstrom der Eisenbahnen um und die erwartete Potentialveränderung zwischen Kabeln und Erde stellte sich ein. Man fand nun, dass die Kabel in der Nähe der Kraftstation, welche vorher ein 1—2 Volt negatives Poten-

tial zur Erde gezeigt hatten, nunmehr um 1—9 Volt positiv gegen die Erde waren. Die Ströme zeigten nunmehr (mit Bezug auf Fig. 151) die umgekehrte Richtung.

Der andere Vorschlag Pearsons ging dahin, von der negativen Klemme der Dynamo starke Kupferleitungen abzuzweigen und dieselben durch die gefährdeten Distrikte zu führen, um sie daselbst in verhältnismässig kurzen Zwischenräumen mit den Kabeln zu verbinden. (Vergl. Fig. 154.)

Nach dem durch Prof. Thomsons Motorgenerator repräsentierten Prinzip hat dieser den Strom mit niedriger Spannung führende Leiter den Zweck, den Strom aus den Kabeln abzuleiten und somit dessen Übergang in die feuchte Erde zu verhüten. Man setzte

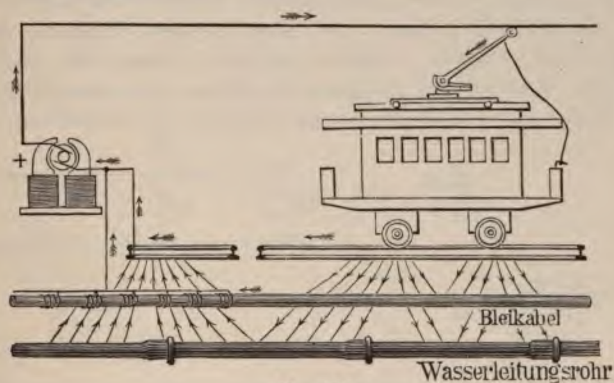


Fig. 154.

seitens anderer Fachleute anfangs Zweifel in die erwünschte Wirksamkeit dieser Anordnung, indem man es für möglich hielt, dass trotz des guten Rückleiters noch ein Teil des Stromes in die Erde übergehen werde. Die nachher ausgeführten Spannungsmessungen zeigten indessen, dass die Kabel, welche 9 Volt positiv nach der Erde zeigten, eine Ablesung von 22 Volt positiv nach dem Rückleiter ergaben, das heisst, der Rückleiter verhielt sich in Bezug auf die Kabel in allen Punkten gewissermassen negativer als die Erde. Diese Leiter wurden aus vielen, etwa 2 *mm* dicken, Kupferdrähten zu 25 *mm* Durchmesser hergestellt, durch den gefährdeten Distrikt bis zu 1400 *m* Entfernung von der Kraftstation geführt und in den Mannlöchern durch mehrere verlötete Kupferdrähte von 3—4 *mm* Dicke mit den Kabeln verbunden. Wie Fig. 154 darstellt, überträgt sich diese Wirkung auch auf die ebenfalls durch die elektrolytischen Wirkungen der Erdströme bedrohten Wasser- und Gasröhren, sodass dieselben in gleicher Weise geschützt werden können.

Da sämtliche angeführten Störungswirkungen auf gleicher Grundlage basieren, so ist man neuerdings bestrebt gewesen, die Entstehung der Erdströme zu ergründen und hat an der Hand dieser Erkenntnis versucht, deren Entstehung möglichst zu verhindern. Bis heute ist dies allerdings nur mit geringem Erfolge geschehen, vielmehr ist man darauf zurückgekommen, an den gestörten Apparaten Änderungen zu treffen.

Die Frage, wie man physikalische Institute gegen die Einwirkung elektrischer Erdströme zu schützen hat, ist vielfach diskutiert worden und hat mehrere Methoden gezeitigt. Die bereits erwähnten Einrichtungen beruhen auf dem Grundgedanken, dass Drähte, in denen entweder ein Teil des Erdstromes oder ein mit dem Erdstrom zugleich auftretender Zweigstrom kreist, so über oder um die zu schützenden Instrumente bezw. Räume, in denen die Instrumente stehen, geführt werden, dass die unmittelbare Wirkung des Erdstromes aufgehoben wird. Die Ausführung kann entweder derart sein, dass die Ausgleichdrähte in Erdplatten endigen,

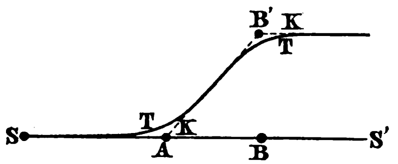


Fig. 155.

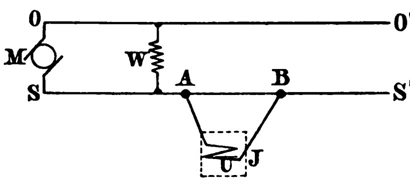


Fig. 156.

die in der Nähe des zu schützenden Hauses eingegraben sind und einen Teil der Erdströme aufnehmen, oder es werden einzelne Schleifen von Ausgleichdrähten gebildet, welche mit ihren Enden die Rückleitungsschienen an verschiedenen Stellen berühren. Die letztgenannte Art ist besonders von Dr. O. Frölich ausgebildet worden und hat bei Probeausführungen zu befriedigenden Ergebnissen in Dresden und in Pankow bei Berlin geführt.

Das Frölich'sche Verfahren besteht darin, dass man zunächst den Verlauf des Störungsstromes ermittelt, welcher durch die Kurve T T in Fig. 155 als Funktion der Stellung des Wagens dargestellt ist. Wenn man jetzt eine Drahtwindung um das zu schützende Gebäude U (Fig. 156) legt und die Enden dieser Leitung in den Punkten A und B mit dem Gleise verbindet, so tritt bei Bewegung des Wagens W in der Ausgleichleitung A U B (Fig. 156) ein Strom auf, welcher durch die gebrochene Linie K K (Fig. 155) gekennzeichnet ist. Wenn sich nämlich der Wagen W zwischen dem Pol der Dynamo S und dem Punkte A befindet, so ist die Ausgleichschleife stromlos. Wenn der Wagen von A nach B vorrückt, so

steigt die Stromkurve geradlinig an und bleibt konstant für jede jenseits von B gelegene Stellung des Wagens. Vergleicht man den Verlauf des Störungsstromes T T mit dem des ihm entgegenwirkenden Ausgleichstromes K K (Fig. 155), so erkennt man, dass schon ein annähernder Ausgleich erzielt ist, der durch Anwendung mehrerer Ausgleichschleifen noch verbessert werden kann. Beispielsweise wird in Fig. 157 die Störungskurve T T durch die gebrochene Linie A B′ C′ D′ ersetzt; daraus ergeben sich die Punkte A B C D (Fig. 158), in welchen die Ausgleichdrähte an die Schienen anzuschliessen sind. Die Justierung gestaltet sich alsdann folgendermassen: Man schaltet zunächst die Schleife A B ein und justiert sie so, dass bei einer Wagenstellung zwischen A und B der Ausgleichstrom die Wirkung ausübt, welche durch die betreffende Stelle der Geraden A B′ vorgezeichnet ist; dann zeigt der Ausgleichstrom bis zur Wagenstellung B den geradlinigen Verlauf A B′, würde aber von da an, wenn keine weiteren Schleifen hinzugefügt werden, den durch B′ bezeichneten Wert beibehalten.

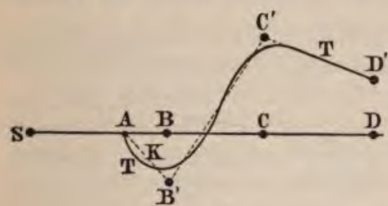


Fig. 157.

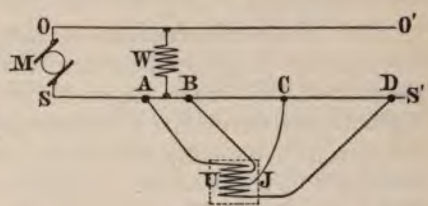


Fig. 158.

Nun verschiebt man den Wagen zwischen B und C, schaltet die Schleife B U C ein, ohne die Schleife A U B auszuschalten, und justiert die erstere so, dass die Wirkung gleich der Störung ist oder, wenn in diesem Punkte Störungs- und Ausgleichkurve nicht zusammenallen, den durch die Gerade B′ C′ vorgezeichneten Wert besitzt. Auf diese Weise wird fortgefahren, bis hinreichende Übereinstimmung zwischen dem Verlauf des Störungs- und Ausgleichstromes erzielt ist. Diesem äusserst geistreichen Verfahren haftet der Übelstand gewisser Umständlichkeit an. Die Sicherheit des erzielten Ausgleiches bleibt ferner im Laufe der Zeit einem Wechsel unterworfen.

Einer praktischen Anwendung hat sich die beschriebene Anordnung im Betriebe noch nicht zu erfreuen gehabt, was zum Teil wohl darin seinen Grund hat, dass man es verstanden hat, entweder mit Akkumulatoren an den gefährdeten Instituten vorbeizufahren oder zweipolige Systeme in deren Nähe anzuwenden.

Man hat weiterhin den Vorschlag gemacht, die Schienen gegen das Erdreich zu isolieren, um Nebenströme im Erdreich zu verhindern. Selbst wenn uns die Technik heute schon Mittel in die Hand

gäbe, mit wirtschaftlichem Erfolge diese Isolierung durchzuführen, so würde die an einigen Stellen des Schienenweges gegen Erde auftretende Potentialdifferenz von einigen Volt bereits genügen, ein über die Schienen gehendes Pferd tötlich zu gefährden. Gisbert Kapp hat daher ein Verfahren angegeben, durch welches ohne Isolierung des Schienenweges eine erhebliche Potentialdifferenz in der fortlaufenden Schiene, sowie in dem umgebenden Erdreich vermieden wird. Aus der diesbezüglichen Patentbeschreibung (D.R.P. 88275) ist das Folgende zu entnehmen:

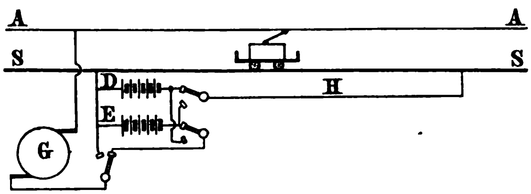


Fig. 159.

In von der Kraftstation G ausgehende und an entfernte Punkte der Schiene S angeschlossene Hilfsleitungen H werden besondere Stromerzeuger derart eingeschaltet, dass ein erheblicher Teil des Rückstromes durch die Hilfsleitungen geführt wird und die Schienen soweit von Strom entlastet werden, dass die Potentialdifferenz zwischen näheren und entfernteren Punkten der Schienen wesentlich vermindert wird. So sind in Fig. 159 die Sammelbatterien D und E zu dem

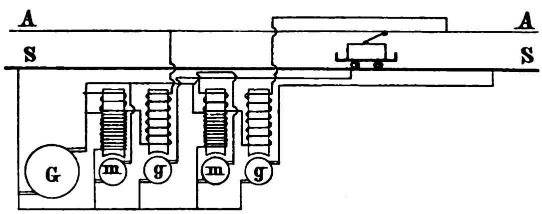


Fig. 160.

genannten Zwecke eingeschaltet. Wenn E durch den vollen Rückstrom geladen wird, so wird D in die Hilfsleitung entladen und umgekehrt (nach erfolgter Umschaltung). Verwendet man Dynamomaschinen als besondere Stromerzeuger, so kann man bewirken, dass ihre elektromotorischen Kräfte innerhalb gewisser Grenzen von der Strombelastung der Schienen selbstthätig abhängig werden, indem man die Stromerzeuger g durch den Arbeits- oder Rückstrom erregt (Fig. 160). Die Stromerzeuger g sind als durch Elektromotoren m angetrieben dargestellt, A bedeutet die Fahrleitung der Bahnstrecke.

In die Praxis übersetzt, bedeutet dieses Verfahren die Anlegung nur schwacher Rückleitungskabel, welche an ihren Anschlussstellen das Schienenpotential um so viel erhöhen, als es bis zu der betreffenden Stelle, von der Kraftstation aus, gefallen ist. Beim Bau der Genfer elektrischen Strassenbahn ist auf die Kapp'sche Anordnung durch Verlegung der betreffenden Zusatzkabel Rücksicht genommen worden. Man beabsichtigt die Zusatzdynamos aufzustellen, wenn sich bei wachsendem Verkehr Störungen zeigen sollten.

Die hierbei in Betracht kommenden Verhältnisse werden durch die folgenden Schemata dargestellt.

In Städten, deren diametral gelegenen Vororte durch die Stadt mittels elektrischer Bahnen mit Schienenleitung verbunden sind, und deren Krafterzeugung, wie üblich, von einem der angeschlossenen Vororte aus erfolgt, können die Potentiale der Erdströme am äussersten Bahnende eine Höhe erreichen, welche auf den ganzen städtischen Telephonbetrieb störend einwirken können, indem die durch Erdplatten im Erdstrombereich angeschlossenen Telephone einen Nebenschluss des Bestriebsstromes erhalten, welcher dem Potentialgefälle der Erdströme entspricht.

Ein Gleiches gilt von Gegenden, in denen Bergbau getrieben wird. Die Orientierung des Bergmannes erfolgt bekanntlich durch Magnetnadelapparate, ähnlich dem Kompass auf dem Schiffe. Es ist bereits konstatiert worden, dass z. B. im westfälischen Bergwerksreviere Abweichungen der Magnetnadel stattgefunden haben, trotzdem bis heute das Bahnnetz in jener Gegend noch nicht die Ausdehnung und Intensität erreicht hat, welche es in allernächster Zeit erhalten wird.

AB stellt in der Fig. 161 die Schienen einer elektrischen Bahn dar. Bei A befindet sich die Kraftstation.

Erhalten die Schienen Stromvibrationen, so werden auch in den benachbarten Erdteilchen, wenn man sich so ausdrücken darf, Spannungsvibrationen sein; d. h. die zwischen A und B herrschende Spannungsdifferenz vibriert ebenfalls, was wiederum Vibrationen in der Fernsprechleitung CD, welche die Abonnenten 1 und 2 vermittelst des Fernsprechamtes verbinden, zur Folge hat.

Wenn auch die Fernsprechanlage zwischen C und D einen ziemlich grossen Widerstand besitzt, so wird dennoch bei herrschender Spannungsdifferenz zwischen A und B durch die Fernsprechanlage ein Strom fliessen. Dieser Strom wird Verstärkungen, Verschwächungen und Vibrationen besitzen, welche als störende Geräusche in den Hörrohren der Abonnenten I und II bemerkbar werden.

Fig. 162 zeigt die Vertikalprojektion einer möglichen Bahn- und Telephonanlage, aus der ersichtlich ist, dass die Lage der Telephon-

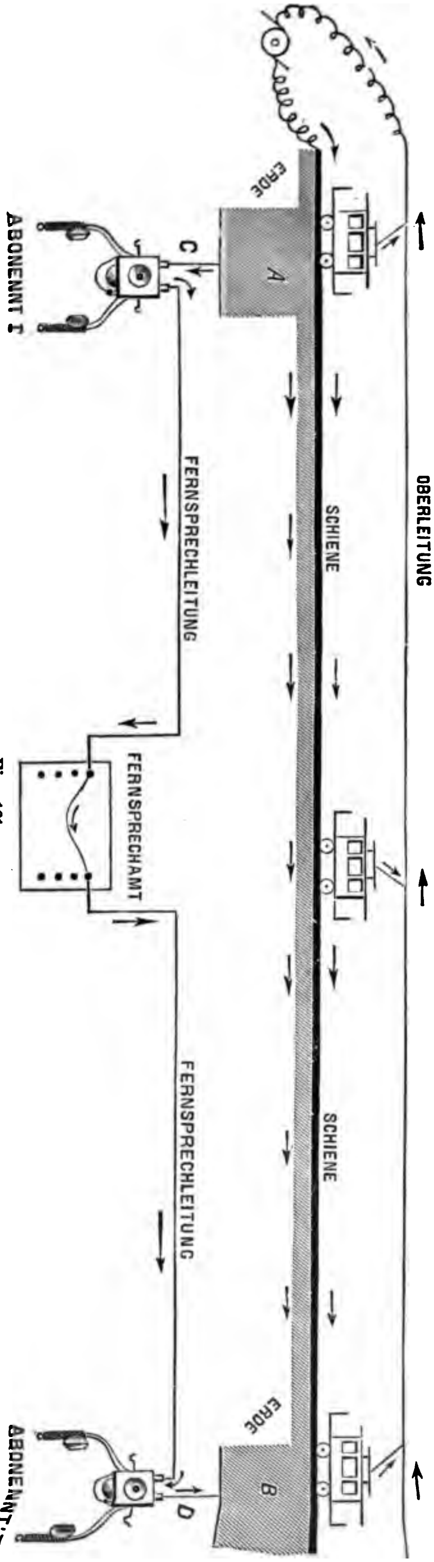


Fig. 161.

leitungen zu den Leitungen der Bahn keine Rolle spielt, sondern dass nur allein die Lage der Telephonerdplatten in Betracht zu ziehen ist. Eine radikale Abhilfe zur Beseitigung der Telephonstörungen ist nur dann zu erwarten, wenn bei der Fernsprechung auf die Erdleitung verzichtet wird und besondere Schleifenleitungen eingerichtet werden.

Über die Entstehung der Strompulsationen waren die Ansichten anfangs geteilt, scheinen sich aber nunmehr dahin geeinigt zu haben, dass der Sitz derselben im Stromwender der Wagenmotoren zu suchen ist. Böhm ist der Meinung, dass die Unreinheiten und Unebenheiten, welche stets bei den Schienen der Strassenbahnen vorhanden sind und über welche der Wagen hinwegrollt, indem er von den Schienen abgehoben wird, kleine, rasch aufeinander folgende Stromvibrationen in der Stromzufuhr bedingt. Er vergleicht diese Vorgänge mit denen im Mikrophon. West hat durch seine in der ETZ 1896, Heft 18, S. 263, niedergelegten Versuche bei der Charlottenburger Strassenbahn gezeigt, dass die Vibration der Schienen und der Schienenbettung periodische Änderungen des Widerstandes zwischen Rädern und Schienen bedingen. Ob aber diese mit Schwachstrom ausgeführten Versuche auch in demselben Masse

Geltung behalten, wenn der Bahnbetriebsstrom die Kontaktflächen durchfliesst, bleibt dahingestellt.

Behn-Eschenburg berichtet über Versuche, die er an der Zürichbergbahn gemacht hat, folgendes:

Als Stromquelle wurde nur die Akkumulatorenbatterie der Centrale benutzt, auf der Strecke befand sich nur der für die Versuche bestimmte Wagen. Die Telephonbeobachtungen wurden mit dem Telephon der Centrale ausgeführt.

Bei dem ersten Versuch wurde der elektrische Strassenbahnwagen in der Mitte der Strecke mittels vier Winden aus den Schienen gehoben, die Motoren wurden im ruhenden Wagen in Gang gesetzt

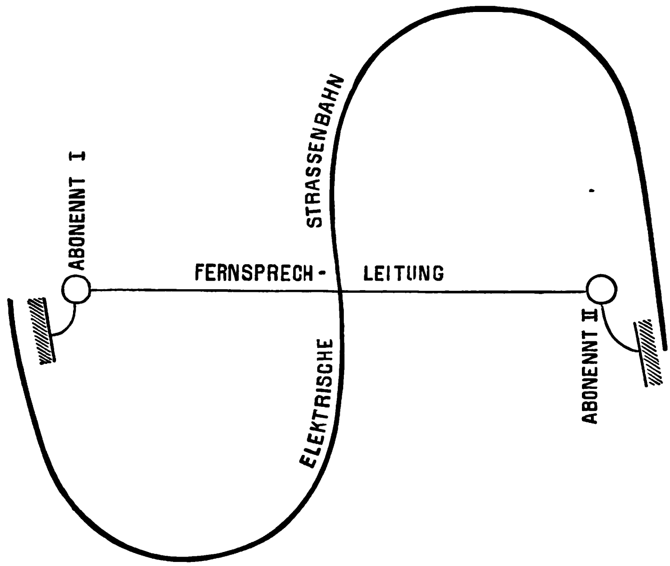


Fig. 162.

und belastet durch Anziehen der mechanischen Wagenbremse. Der Strom wurde zugeführt durch die ruhende Kontaktrolle und eine provisorische Verbindung mit den Schienen. Dabei traten im Telephon genau die gleichen Töne und Tonschwankungen auf, wie sie von den in der Gegend fahrenden Strassenbahnwagen erzeugt wurden.

Beim zweiten Versuch wurde der Wagen wieder auf die Schienen gelassen und im Innern desselben ein Belastungswiderstand angebracht, der ungefähr den maximalen Anlaufsstrom eines Wagens aufnahm. Der Wagen wurde nun durch sein Eigengewicht den Berg hinuntergetrieben bei ausgeschalteten Motoren, indem seine Geschwindigkeit mittels der mechanischen Bremse reguliert wurde. Der Strom

wurde durch Schienen, Räder, Fahrdraht und Kontaktrolle in den Belastungswiderstand geleitet. Im Telephon war keine Spur von den Tönen bemerkbar, die durch den Motorenbetrieb hervorgerufen werden, und es konnte kein Unterschied konstatiert werden, ob der Wagen ruhte oder lief (abgesehen von zufälligen Kurzschlüssen in dem Widerstand infolge der Erschütterung).

Diese Versuche zeigen, dass in diesem Fall die in dem Telephon durch den Bahnbetrieb erzeugten Töne weder von der Zuleitung durch die Schienen und Räder, noch von der Zuleitung durch den Fahrdraht und die Kontaktrolle beeinflusst werden, wobei zugleich die irrige Anschauung von Riche Preller, der Bügelkontakt wirke zur Vermeidung der Strompulsationen günstiger als der Rollenkontakt, gründlich widerlegt wurde.

Bei einem weiteren Versuch wurde die Rückleitung des Telephons der Centrale ersetzt durch eine Verbindung mit der Luftleitung eines benachbarten Telephons und die Erdleitung beider Telephone abgeschaltet. Es konnten nur noch äusserst schwache Töne im Zusammenhang mit dem Bahnbetrieb wahrgenommen werden. Es scheint also bei den betreffenden Telephonleitungen die direkte Induktion einen verschwindend kleinen Einfluss zu haben.

Sehr wesentlich ist bei diesen Erscheinungen die Empfindlichkeit der Telephonmembran für eine bestimmte Schwingungszahl oder Tonhöhe. Selbstverständlich kann durch keine Konstruktion der Motoren der Charakter der undulierenden Stromstärke beseitigt werden. Massgebend vor allem scheint die Ausdehnung des Telephonnetzes und die Leitfähigkeit der Erde. (Für die Untersuchungen eignet sich vorzüglich ein kleiner Wechselstromtransformator, welcher in ein paar Windungen den Hauptstrom führt, während ein Telephon an die sekundären Windungen angeschlossen wird.)

Auf Grund der vorstehenden einwandsfreien Beobachtungen neigt man, wie bereits erwähnt, der Ansicht zu, dass die Stromschwankungen nicht durch die veränderlichen inneren Motor- und Vorschaltwiderstände erfolgen, auch nicht durch die veränderliche innere und äussere Wagenreibung oder durch variable rollende Reibung, sondern lediglich durch den Motor selbst verursacht werden, und zwar erstens durch Vibration der Kohlenbürsten, welche ebenso wie beim Kohlenmikrophon wirkt, und zweitens durch den in der Sekunde sich, entsprechend der Motorumdrehungszahl und der Kommutatorteilung, wiederholenden Kurzschluss der einzelnen Ankerspulen. Bei einem Motor mit normal 450 Umdrehungen in der Minute und 60 Kommutatorteilen wird demnach ein Ton hörbar sein, der dem Kammerton an Schwingungszahl annähernd gleich kommt. In der Praxis ist diese Übereinstimmung thatsächlich vorhanden.

Je weniger Kollektorsegmente der Stromwender hat und je langsamer der Motor läuft, desto tiefer wird der Ton sein. Wenn man es erreichen kann, die Schwingungszahl derartig zu verringern, dass das menschliche Ohr den Ton nicht mehr wahrnimmt oder denselben nicht mehr störend empfindet, so wäre für den Fernsprechverkehr das Übel gehoben. Bei Wechselstrombahnen (Drehstrom) mit geringer Frequenz ist demnach am ehesten eine Hoffnung zur Besserung vorhanden, da hier der Kommutator gänzlich in Wegfall kommt. Wie weit nach Ansicht von Wistlisbach Motoren mit besonders starkem Magnetfelde und verhältnismässig wenig Ankerrückwirkung den Telephonverkehr am wenigsten stören werden, muss durch die Praxis erst noch bewiesen werden.

Gelegentlich des internationalen Elektrikerkongresses in Genf 1896 wurden folgende Sätze als Vorschläge zur vorläufigen Beachtung aufgestellt, um darin die bisher gemachten Erfahrungen für den Schutz gegen Erdströme zur Nachachtung und Vervollständigung bekannt zu geben, ohne dadurch vorzeitig Bestimmungen festzulegen, welche durch spätere Verbesserungen überflüssig werden könnten:

1. Die Telephonnetze können ausreichend gegen Starkströme geschützt werden, indem man auf die Erde als Rückleitung verzichtet und die Schleifenschaltung anwendet.

2. Da die Starkströme viele Millionen mal grösser sind als die Telephonströme, müssen die Starkstromleitungen so verlegt und isoliert sein, dass sowohl Stromübergang in die Erde als auch die Effekte der Induktion auf einen genügend kleinen Betrag herabgedrückt werden.

3. Wo bei Gleichstromanlagen ein Teil des Starkstromkreises an Erde liegt, wie bei den elektrischen Strassenbahnen, müssen, soweit als möglich, besondere Hilfsmittel benutzt werden, um die Beeinflussung der Telephonleitungen zu vermindern. Solche Mittel sind:

a) Gute Isolation der Fahrleitung und der damit elektrisch verbundenen Teile der Installation.

b) Isolierte Rückleitungskabel von den am meisten belasteten Schienenpunkten aus, eventuell mit Zusatzdynamos verbunden.

c) Gute Schienenverbindungen, Transversalverbindungen, besondere Rückleitung.

d) Berücksichtigung bezw. Vermeidung derjenigen Faktoren bei der Konstruktion des Motors, welche das Undulieren des Stromes begünstigen können.

16. Dreileitersystem.

Die Benutzung der Erde für die Leitung des Stromes bei elektrischen Bahnen hat, wie soeben dargelegt, den Übelstand gezeigt,

dass der Strom seinen Weg zur Kraftstation zurück nicht allein durch die Erde nimmt, sondern dass er naturgemäs auch den noch bequemeren Weg durch die im Erdboden liegenden, die Strombahn treffenden metallischen Röhren u. s. w. benutzt.

Um die zerstörenden Wirkungen zu vermeiden, hat man ausser dem im vorigen Abschnitte genannten Verfahren, noch weiter in Vorschlag gebracht, die oberirdische Leitung als Aussenleiter eines Dreileitersystems anzuordnen und die Schienen bezw. die Erde als neutralen Mittelleiter zu schalten. Zu diesem Zwecke wird die Leitung in Teilstrecken zerlegt, die voneinander isoliert bleiben und abwechselnd mit der Plus- und Minusleitung verbunden sind, wie Fig. 163 dieses ohne weiteres veranschaulicht.

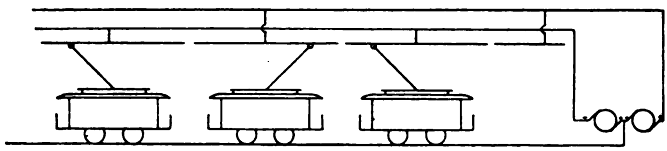


Fig. 163.

Bei zweigleisiger Bahnlinie ist die Sache noch einfacher, da die voneinander isolierten Teilstrecken in Fortfall kommen und die Plus- und Minusleitung aus dem Fahrdraht des rechten bezw. linken Gleises gebildet wird. (Fig. 164.)

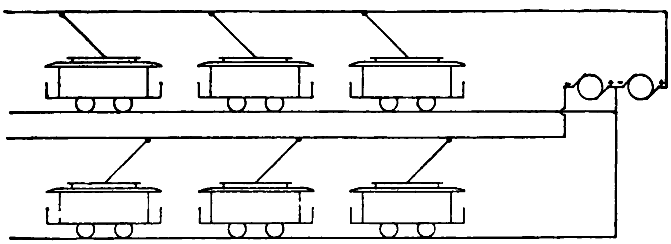


Fig. 164.

Es ist nun ersichtlich, dass der Strom zum grössten Teil nur die zwischen zwei fahrenden Wagen liegende kürzeste Strecke der Schienen durchlaufen wird, und nur für den Fall, dass der Stromverbrauch beider Wagen sich nicht das Gleichgewicht hält, wird der überschiessende Strom die ganze Schienen- und Erdleitung bis zur $\pm$ Klemme des Stromerzeugers durchlaufen.

Den im Erdreich vagabondierenden Strömen ist daher wenig Gelegenheit geboten, sich mit ihrem Wirkungskreise in die Nähe von Erdplatten der Telephone, von Gas- und Wasserröhren zu begeben, da der Hauptanteil des Stromes nur oberirdisch geführt wird.

Die Luftleitungen gegeneinander haben bei diesem System die doppelte Spannung, als sie im Wagen herrscht. Die Isolation der Fahrdrähte muss der doppelten Spannung entsprechen. Auf den Vorteil der hohen Leitungsfähigkeit des Schienenweges wird zu Gunsten der schädlichen Nebenwirkungen verzichtet.

Ein Nachteil der Anordnung liegt darin, dass man für die gleichmässige Belastung der Aussenleiter Sorge tragen muss und dass die Isolation der doppelten Spannung wegen mit Schwierigkeiten verknüpft ist.

Man hat sogar darzulegen versucht, dass infolge der doppelten Betriebsspannung eine Ersparnis an Leitungsmaterial eintritt. Dieser Vorteil wird indes illusorisch, wenn man in Rechnung zieht, dass man für gewöhnlich den Schienenwiderstand annähernd gleich Null setzen kann. Tritt aber für diese Rückleitung ein 50 *qmm* starker Draht, so ist dessen Widerstand gleich dem der Hinleitung, und die doppelte Spannung büsst für diesen Zweck ihren Vorteil ein. Was die Stärke der Speisekabel betrifft, so ist beim Dreileitersystem zwar ein halb so grosser Querschnitt wie beim Zweileiter zulässig, aber auch dieser Vorzug ist hinfällig, wenn man bedenkt, dass man stets die doppelte Zahl an Speiseleitungen (für jeden Aussenleiter einen) benötigt.

Das Dreileitersystem hat sich bei der Beleuchtung so ganz besonders gut bewährt, was auch dessen Einführung bei Bahnen den Weg ebnen hilft. Über dessen praktische Bewährung müssen indes die Erfolge abgewartet werden.

Bahnen mit Dreileitern sind im Betriebe in Portland, Oregon, Bangor M. E., St. Louis und sollen sich gut bewähren.

17. Schutzvorrichtungen für Schwachstromdrähte.

Telephon- und Telegraphenleitungen benutzen gewöhnlich dieselben Verkehrswege, wie die elektrischen Bahnen. Da dieselben bei uns in Deutschland in den meisten Fällen der Reichspost gehören, so sind nach § 12 des Telegraphengesetzes vom 6. April 1892 die vorhandenen Schwachstromleitungen der Post gegen die Starkstromleitungen der Bahn zu schützen.

(§ 12 des Tel.-Ges. lautet: Elektrische Anlagen sind, wenn eine Störung des Betriebes der einen Leitung durch die andere eingetreten oder zu befürchten ist, auf Kosten desjenigen Teiles, welcher durch eine spätere Anlage oder durch eine später eintretende Änderung seiner bestehenden Anlage diese Störung oder die Gefahr derselben veranlasst, nach Möglichkeit so auszuführen, dass sie sich nicht störend beeinflussen.)

Es haben sich für den gegenseitigen Schutz Konstruktionen herausgebildet, welche im folgenden behandelt werden sollen.

Das Zunächstliegende ist, den Fahrdraht selbst, da er nicht anders als blank ausgeführt werden kann, mit isolierender Hülle zu umgeben, wobei immer darauf Bedacht zu nehmen ist, dass der Wagenkontakt direkte metallische Berührung behält. Querschnitte solcher Anordnungen sind in Fig. 165 u. 166 dargestellt. Fig. 165 zeigt eine Holzleiste, Fig. 166 ein halbes Bambusrohr als schützenden Teil.

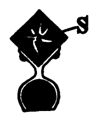


Fig. 165.



Fig. 166.

Stromlose Schutzdrähte haben weiterhin in verschiedener Anordnung Anwendung gefunden. Die Figuren 167, 168 und 169 zeigen diese Schutzdrähte schematisch.

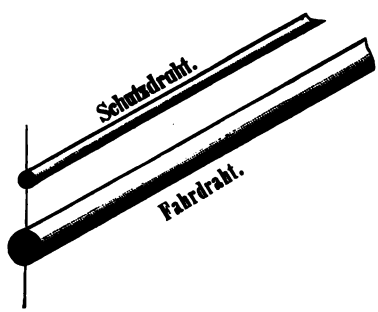


Fig. 167.

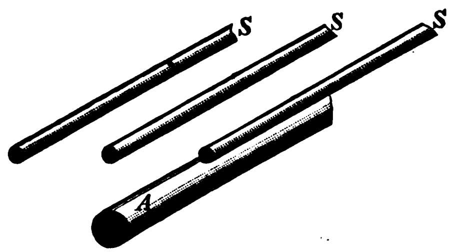


Fig. 168.

Wenn man diese Schutznetze hoch über dem Fahrdrahte anbringen kann, empfiehlt es sich, wie weiter erklärt wird, dieselben mit dem Erdpol zu verbinden. Bei geringerer Entfernung, wenn die Möglichkeit einer Berührung des mitunter schwankenden Fahrdrahtes mit dem Schutznetz vorliegt, muss dasselbe natürlich isoliert befestigt werden.

Besonders bei schleifendem Bügelkontakt könnte man noch in Vorschlag bringen, den Fahrdraht von vornherein als isolierten Draht zu verwenden und nach Aufbringung desselben den unteren Teil der Isolation so weit wegzuschneiden, dass eine gute metallische Berührung mit dem Wagenkontakt möglich ist. Fig. 170 zeigt diese Anordnung für Bügelkontakt und Fig. 171 für Rollenkontakt.

Mit diesen Vorrichtungen ist jedoch alles erschöpft, was in der Macht des Bahnbauers liegt. Wie wenig andererseits dieses den gestellten Ansprüchen genügt, hat die Praxis bewiesen. Einem aus 20—30 *m* Höhe herabfallenden schwachstromführenden Draht kann man seine Durchschlagkraft durch zierliche Konstruktionen, wie solche doch nur in Betracht kommen können, nicht nehmen. Der Schutz, welcher, so lange er unthätig ist, seinem Zwecke entspricht, wird durch die mechanischen Kräfte in dem Augenblick verschlechtert, wenn er wirken soll.

Es können nur diejenigen Schwachstromleitungen in Gefahr kommen, welche die Bahn senkrecht oder schräg kreuzen, oder in deren allernächster Nähe parallel laufen.

Am allergefährlichsten sind die schräg zum Fahrdraht verlaufenden Drähte, weil beim Herabfallen dieselben nur durch ganze Dächer über der Starkstromleitung geschützt werden können, es ist



Fig. 169.



Fig. 170.



Fig. 171.

daher zu erstreben, dass von vornherein Strassen von Telegraphen- und Telephondrähten nur senkrecht überschritten werden, und wo dies nachträglich noch möglich ist, dieselben in dieser Weise zu verlegen.

Der teuerste, aber vollkommenste Schutz besteht darin, dass man die gefährdeten Schwachstromleitungen in ein oberirdisches oder unterirdisches Kabel verlegt, oder dass man an Stelle der Erdrückleitung eine besondere metallische Leitung verlegt. Ein billigeres, aber äusserst zweckmässiges Mittel ist das Fangnetz dicht unter der Leitung, welches bewirkt, dass ein defekt gewordener Schwachstromdraht in mässiger Höhe so aufgefangen wird, dass er weder mechanische noch elektrische Beschädigungen und Verletzungen bewirken kann. (Fig. 172.)

Fällt er indes schon aus beträchtlicher Höhe herab, dann sind Zerstörungen mannigfachster Art stets zu gewärtigen.

Der Schutz von Personen und Sachen gegen die Fall- und Massenwirkungen eines oder mehrerer Telephondrähte u. s. w. fällt nicht in das Bereich derjenigen Massnahmen, welche dem Unternehmer für Starkstromanlagen zur Last fallen, weil durch diese Anlagen die Gefahr nicht vermehrt wird. Dagegen ist jeder Schutz in elektrischer Beziehung zu verlangen. Das Naheliegendste ist natürlich die in anderen elektrischen Betrieben so bewährte Bleisicherung. In dieser Beziehung hat die schwedische Postbehörde sehr dankenswerte Untersuchungen begonnen und hofft, mit der Zeit den gewünschten Erfolg zu erreichen. Die Schwierigkeit liegt darin, dass es bisher noch nicht möglich war, eine Abschmelzvorrichtung zu finden, welche einerseits genügend Festigkeit gegen mechanische und chemische Einwirkungen besitzt, andererseits aber auch so fein hergestellt werden kann, dass die für Bruchteile von Ampère hindurchgehende Stromstärke die sichere Abschmelzung gewährleistet.

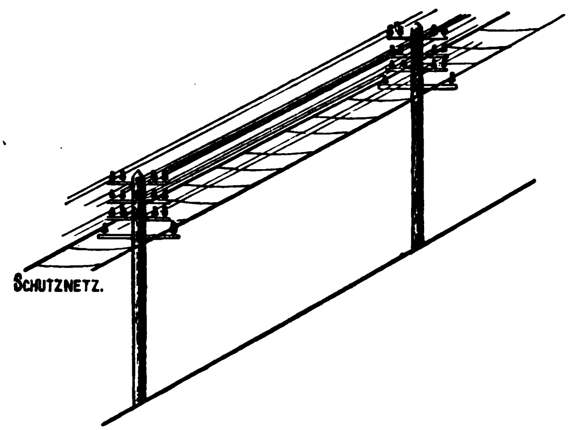


Fig. 172.

Die Bleisicherungen vermögen zwar eine momentane Unterbrechung eines eintretenden Starkstromes zu bewirken, nicht aber den längere Zeit andauernden sehr schwachen Strömen den Eintritt in die Telephonapparate zu wehren. Bei 500 Volt Betriebsspannung der Bahn und dem Ohm'schen Widerstande eines bezw. mehrerer Telephonapparate ist es noch immer möglich, dass ein Strom übertritt, der die Bleisicherung unbeschädigt lässt, dagegen die Apparate bei längerer Dauer über das zulässige Mass erwärmt. Durch eine derartige Erwärmung kann das Gebäude, in welchem sich Telegraphen- und Fernsprechanlagen befinden, Feuer fangen, wenn die Installation in der bei der Post üblichen Weise erfolgt ist. Eine radikale Besserung dieser zur Zeit recht misslichen Zustände wird erst erfolgen,

wenn die Drahtleitungen und Apparate der Post nach den Sicherheitsvorschriften des Verbandes deutscher Elektrotechniker installiert werden.

Feine Metallblättchen, welche auf kleinen Glasplättchen aufgeklebt sind, haben sich bei Telephonapparaten bewährt.

Über diesbezügliche Versuche des Telegraphen-Ingenieurbureaus am Reichspostamt hat Dr. Strecker in der ETZ 1896, Heft 27, S. 431, eingehend berichtet und kommt darin zu dem Resultat, dass die Verwendung von Drahtsicherungen durchführbar ist, wenn bei der Konstruktion der Sicherungen die Versuchsresultate seiner Abhandlung entsprechend verwertet sind. Vor allem betrifft dies die dichte Einbettung des Schmelzdrahtes für die in Betracht kommende Schmelzstromstärke von 0,12—0,2 Ampère in isolierendes Material unter möglichstem Abschluss frischer Luft.

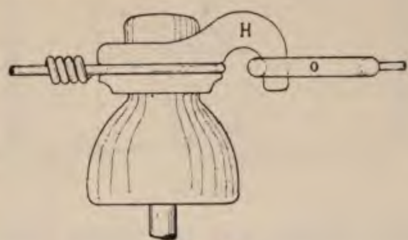


Fig. 173.

Der internationale Elektriker-Kongress im Jahre 1896 zu Genf hat sich dahingehend geäussert, dass es bei oberirdischen Kreuzungen von Starkstrom- und Schwachstromlinien genügt, die letzteren durch Abschmelzdrähte zu sichern, wenn die Spannung 750 Volt nicht übersteigt.

Eine Sicherung muss an jeder Stelle vorgesehen werden, an der eine Erhitzung des Schwachstromdrahtes feuergefährlich werden könnte. Eine mechanische Sicherung des Schwachstromdrahtes ist durch folgende Einrichtung gegeben:

Der durch die Horizontalspannung des Telegraphen- bezw. Telephondrahtes ausgeübte Druck bewirkt ein Festhalten der Öse O in dem Haken H (Fig. 173), welch' letzterer zu diesem Zwecke eine kleine Einkerbung besitzt. Mit der Öse O ist der eventuell gefährdete Schwachstromdraht befestigt, während am hinteren Teil des Hakens H der Draht zur üblichen Weiterführung angebracht ist. Reisst nun aus irgend einem Grunde der Schwachstromdraht, so hört der Horizontalzug auf und es fallen die zerrissenen Enden mit den Ösen O zu Boden. (Fig. 174.) Jegliche Verbindung mit den intakt bleibenden Leitungen hört somit auf und die Gefahr ist beseitigt.

Eine Abart dieser Konstruktion ist für Drahtschwärme bestimmt, weil vorstehende Vorrichtung nur für Einzelleitungen Anwendung finden kann. Fällt nämlich ein oberer Draht eines Schwarmes herunter, dann kann es vorkommen, dass das eine Ende sich um die

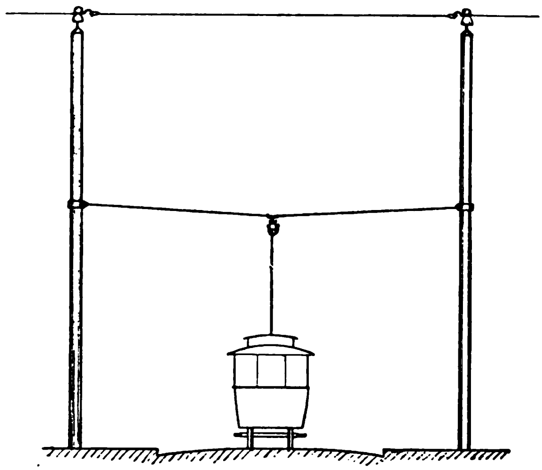


Fig. 174.

benachbarten Drähte schlingt und das andere Ende den Starkstromdraht der Strassenbahn berührt. Darum muss man den gefährdeten Draht in solch' kurze Stücke zerlegen, dass keines derselben allzulang herunterhängt. (Fig. 175.) Man erreicht dies, wenn man den

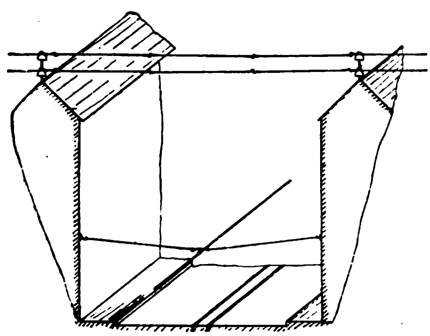


Fig. 175.

Draht an den Schnittstellen mit zwei Endösen (Fig. 176) versieht und dadurch eine lose Kette bildet, deren Glieder genügend kurz sind, um obigen Zweck zu erreichen, und welche durch den Horizontalzug die Kugelkalotten an die dazwischengelegte kleine Metallkugel

presst, um so guten Kontakt für den Schwachstrom zu bieten. Da, wo ein absolut ruhender Kontakt entschieden verlangt wird (Telephon), kann man diesen durch einen dünnen, leicht zerreissbaren Bleidraht erreichen.

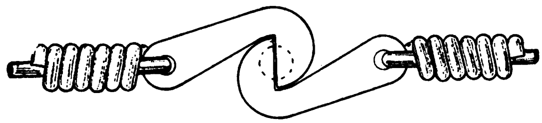


Fig. 176.

Auf dem Prinzip des Aufhörens der Horizontalspannung beim Reissen eines Drahtes beruht ferner eine Anordnung, welche den gesamten Drahtschwarm ausschaltet, sobald auch nur ein Draht nachlässt. Fig. 177 veranschaulicht ohne weiteres die Ausführung

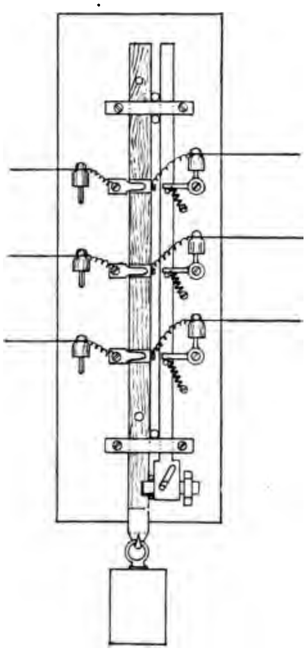


Fig. 177.

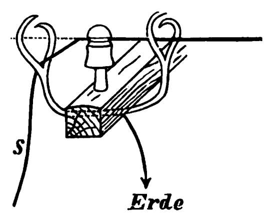


Fig. 178.

dieser Idee. Der einzige Mangel dieser Konstruktion ist der, dass beim Defektwerden eines Drahtes die sämtlichen an den Schwarm angeschlossenen Teilnehmer ausgeschaltet werden.

Eine von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft ausgeführte Konstruktion ist in Fig. 178 dargestellt.

Reisst die Schwachstromleitung S, so fällt dieselbe kontaktbildend in den mit Erde verbundenen Schutzbügel, der im gespannten Zustande den zu schützenden Draht frei umschliesst.

Bis hierher sind die hauptsächlichsten Schutzmassregeln aufgeführt, welche mechanische Verletzungen der Schwachstromleitungen unschädlich machen sollen. Da die Praxis gezeigt hat, dass Schutznetze nicht immer in wünschenswerter Weise wirken, so ist man dazu übergegangen, automatisch wirkende Ausschalte- und Anzeigevorrichtungen sowohl auf der Strecke als auch in der Kraftstation anzubringen. Zugleich wird durch geeignete Anordnung der Schutznetze bezweckt, die Apparate der Post zu schützen, selbst wenn das Schutznetz nicht so wirkt, wie es sollte.

Wird das Schutznetz mit dem Erdpol in Verbindung gebracht, so bleibt der Postapparat, falls der betreffende Fernsprechdraht reisst und auf den anderspoligen Fahrdraht herunterfällt, stets im Nebenschluss zu dem heiss werdenden Verbindungsstück mit verhältnismässig sehr geringem Widerstand. In Fig. 179 ist die schematische

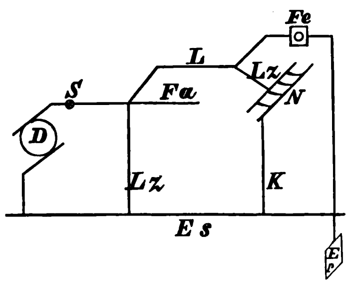


Fig. 179.

E = Erdpol { Es = Erdschiene. / Ep = Erdplatte. }
Fe = Fernsprecher.
Fa = Fahrdraht.
S = Starkstromautomat.
D = Dynamomaschine.
N = Schutznetz.
K = Kurzschlussdraht (Erdverbindung).
L = Fernsprechleitung.
Lz = zerrissenes Fernsprechdrahtende.

Darstellung der Stromverteilung in dem Falle gezeigt, in welchem der Schwachstromdraht sowohl das Schutznetz als auch den Fahrdraht berührt und mit der Erde Verbindung herstellt.

Der Starkstromautomat S, welcher sich hier in der Station befindet und im Falle des Kurzschlusses ausspringt, kann natürlich auch auf der Strecke selbst angewandt werden, um nur immer denjenigen Teil des Fahrdrahtes abzuschalten, der sich in unmittelbarer Nähe der Postleitungen befindet.

Bedingung für die Aufrechterhaltung des Verkehres in ungefährdeten Teilen der Bahnanlagen ist alsdann natürlich, dass der Fahrdraht von besonderen Speiseleitungen begleitet wird, und dass die jemaligen Speisepunktverbindungsleitungen mit entsprechenden Bleisicherungen oder Automaten versehen werden.

Einen Nachteil besitzt das an der Erde angeschlossene Schutznetz. Falls nämlich das Netz selbst zerreisst, so bildet es bei Berührung mit dem Fahrdrahte ebenfalls Kurzschluss und mit diesem eine Betriebsstörung. Dem gegenüber muss man ein Schutznetz dauerhaft befestigen, genügend stark machen und durch die Drahtdurchhänge des Netzes keine Berührungspunkte mit dem Fahrdrahte begünstigen.

Es liegt nun, als Konsequenz vorstehender Darlegungen, nichts näher, als absichtliche Kurzschlüsse dann hervorzurufen, wenn ein Schwachstromdraht, ein Schutzdraht oder sonstige über dem Fahrdraht befindliche Drähte herunterfallen, um dadurch den Betriebsstrom auszuschalten.

Die Strassenbahnleitungen im Königreich Sachsen müssen neuerdings auf Anordnung des sächsischen Staatskommissars Baurat Professor Dr. Ulbricht nach den vorstehenden Prinzipien gesichert werden. Die für die Herausgabe dieser Bestimmungen erforderlichen Vorversuche hatten gezeigt, dass der Fernsprechdraht nicht am Fahrdraht, sondern am geerdeten Schutznetzdraht abschmolz. Das nun stromlos gewordene Drahtende blieb am Fahrdraht hängen und ragte in das Bereich des Strassenverkehrs hinein. Solange das Drahtende die Fahrschiene nicht berührt, ist keine Wirkung nach aussen wahrnehmbar. Wenn jedoch z. B. ein Pferd, das bekanntlich infolge seiner guten Kontaktbildung durch die Hufeisen dem elektrischen Strome gegenüber äusserst empfindsam ist, Verbindung zwischen Drahtende und Erde herstellt, wird dasselbe zumeist getötet, oder wenn zufälligerweise dieses nicht geschieht, mindestens zum Durchgehen veranlasst. Auch der Mensch kann unangenehm berührt werden. Um diese Gefährdungen des Strassenverkehrs zu beseitigen, konstruierte Professor Ulbricht einen Apparat, der nur allein durch einen momentanen Erdschluss einen Erdschlussautomaten in der Nähe der durch Schwachstromleitungen gefährdeten Stelle zur Wirkung bringt und dadurch einen dauernden Kurzschluss von bestimmter Grösse hervorbringt. Durch den ausgesprungenen Erdschlussautomat wird der Fahrdraht mittels einer starken Leitung mit den Schienen verbunden, sodass ein energischer Kurzschluss in der Fahrleitung den Stationsautomaten sicher zur Auslösung bringen muss. Eingehende Beschreibung der Versuche und Schaltungen befindet sich in der ETZ 1896, Heft 19, S. 278.

Wenn, wie wir soeben gesehen haben, zwischen Fahrdraht und Laufschiene ein Kurzschluss entstanden ist, so soll angezeigt werden, wenn der Kurzschluss beseitigt ist, um wieder einschalten zu können. Zu diesem Zwecke ist parallel zum automatischen Starkstromausschalter ein Widerstand W geschaltet, der natürlich auch durch Lampen ersetzt werden kann.

Fig. 180 stellt die Schaltung dar. Neben dem Stationsampèremeter A ist noch ein für kleine Ströme berechnetes Ampèremeter B vorhanden. Dieses letztere zeigt an, ob der durch den Widerstand geschwächte Strom kreist oder nicht. Kreist derselbe, so ist der Kurzschluss auf der Strecke noch nicht behoben, steht das Ampèremeter B still, so ist die Streckenleitung offen. Der Hauptschalter bezw. der Automat kann alsdann wieder eingelegt werden. Hierbei darf jedoch nicht ausser acht gelassen werden, dass ein zufällig eingeschalteter Motorwagen, der etwa auf Strom wartet, sowie ein nach dem gemischten System (mit Schnellauflade-Akkumulatoren und direkter Zu-

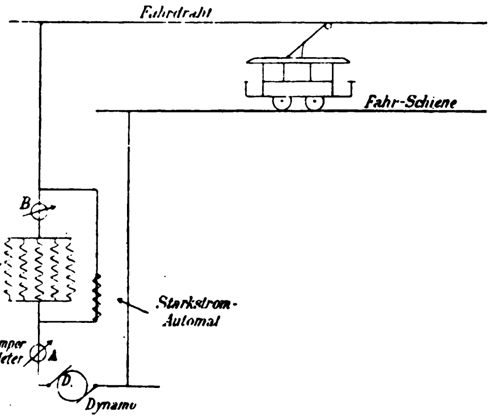


Fig. 180.

leitung) betriebener Wagen die Kontrollmessung illusorisch macht. Es ist im Betriebe nichts natürlicher, als dass derjenige Wagenführer, der von dem Kurzschluss noch nichts weiss, immer wieder versuchen wird, seinen Wagen in Bewegung zu setzen, wodurch ein künstlicher Kurzschluss verursacht wird. Besteht nun die Fahrordnung, dass bei mangelndem Strome vom Wagenführer nur die Wagenglühlampen eingeschaltet werden dürfen, so werden hier durch die fünf Lampen = 1000 Ohm dem Stationswiderstand vorgeschaltet. Befinden sich mehrere Wagen innerhalb der gestörten Strecke, so sind die Wagenlampenreihen untereinander parallel und zum Stationswiderstand in Serie geschaltet. Der Stromzeiger B darf daher zwischen offener Strecke und durch Lampenwiderstände geschlossener Strecke keinen Unterschied machen, dagegen soll er anzeigen, wenn die Leitung kurzgeschlossen ist. Man vergesse dabei nicht, dass 1 *km* eingleisige Strecke rund 0,1 Ω Widerstand haben kann. Zieht man ferner in Betracht, dass z. B. zehn parallel geschaltete Wagenlampenreihen nur $\frac{1000}{10} = 100$ Ohm Widerstand haben, so ersieht man,

dass der Stationswiderstand sehr klein sein muss, um einen merkbaren Stromunterschied bei der Kontrollmessung zu haben. Ein geringer Stationswiderstand aber giebt auf die Prüfstrecke einen solch grossen Strom, dass durch ihn dieselben Erscheinungen auftreten können, wie durch den mittels Automaten gesicherten Hauptstrom. Man erkennt hieraus, dass dieser Apparat nur ein beschränktes Anwendungsgebiet besitzt.

Ein durch den ausspringenden Automaten, bezw. ein durch den ausgehobenen Hauptschalter bethätigter Batteriestrom von wenigen Volt Spannung ist für diese Zwecke bedeutend brauchbarer, da

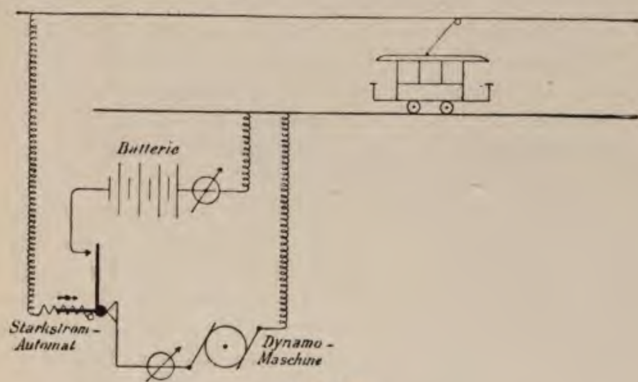


Fig. 181.

erstens die Stromstärken bezw. die zu überwindenden Widerstände grössere Abstufungen im Messbereich zulassen und zweitens der Prüfstrom eine absolut ungefährliche Spannung besitzt. (Fig. 181.)

18. Das unterirdische Stromzuführungssystem.

Der Verbreitung, welcher sich das oberirdische Stromzuführungssystem seiner Billigkeit und Einfachheit halber erfreut, kann sich das unterirdische System (auch Unterleitung genannt) nicht rühmen, obgleich es für das innere Gebiet einer grossen Stadt geeigneter sein würde als das Drahtnetz einer oberirdischen Zuleitung (auch Oberleitung genannt), da von dem Kanal nebst den Leitungen überhaupt nichts auf den Strassen zu sehen ist und also eine derartige elektrische Bahnanlage äusserlich einer gewöhnlichen Strassenbahn vollkommen gleicht.

Das ältere System der Tiefleitung wird durch den nach oben offenen Schlitzkanal charakterisiert. In diesen Schlitz greift der Wagenkontakt hinein, um von den Leiterschienen den Betriebsstrom

abzunehmen. Zugleich bietet aber der Schlitz auch dem Strassenschmutz, -Schlamm und -Wasser Eintritt in den Kanal und kann zwischen den stromführenden Teilen Kurzschluss begünstigen.

Die grundlegenden Bedingungen für die Konstruktion der »Unterleitung« sind: Vermeidung der Kurzschlussgefahr bei den herrschenden Betriebsspannungen, leichte Entwässerung und Reinigung der Kanäle, Durchbildung einfacher Weichen und Kreuzungen und Verwendung des dauerhaftesten Materials zur Herstellung des Kanals, um Reparaturen auf das geringste Mass herabzudrücken.

Man hat sich auch bemüht, den Kanal vollständig nach aussen abzuschliessen, um die obigen Bedingungen leichter erfüllbar zu machen. Somit kann man alle unterirdischen Stromzuführungen einteilen in diejenigen mit offenem und diejenigen mit geschlossenem Leiterkanal. Die erstere Art hat mehrfach Anwendung gefunden, während die letztere aus dem Stadium des Versuches noch nicht herausgekommen ist, indes des Interessanten soviel bietet, dass wir nicht darüber hinweggehen wollen.

Von Jahr zu Jahr häufen sich die Erfindungen und Konstruktionen auf diesem Gebiete, sodass es unmöglich ist, an dieser Stelle auf alle Einzelheiten einzugehen; vielmehr muss hier die Beschränkung zulässig sein, über die auf dem Papier bestehenden Konstruktionen und Vorschläge hinwegzugehen und nur die wichtigsten ausgeführten bezw. in Betrieb gesetzten unterirdischen Stromzuführungen zu beschreiben. Nicht zum wenigsten hat ein amerikanisches Gesetz der letzten Jahre Anstoss zu gründlicher Lösung der unsichtbaren Stromzuführungen gegeben, da hiernach bis zum Jahre 1900 alle oberirdischen Schwach- und Starkstromleitungen verschwunden sein müssen. Die amerikanischen Kabelbahnen, welche den elektrischen Bahnen weichen mussten, boten drüben eine günstige Gelegenheit, die vorhandenen Drahtseilkanäle für die unterirdische Stromzuführung mit Schlitzkanal auszunutzen.

a) Der offene Leiterkanal (Schlitzkanal).

Der offene Kanal von Siemens & Halske ist seit 1889 mit Erfolg bei der Budapester Stadtbahn angewandt worden. Während bei den amerikanischen Bahnen wohl aus örtlichen Gründen der Kanal mit den Leitungen in die Mitte jeden Gleises gelegt worden ist, befindet sich dieser Kanal bei dem System der Firma Siemens & Halske unter der einen Fahrschiene. Durch den Fortfall besonderer Abdeckungen der Kanalöffnung ist hierbei weniger Eisen in der Strassenoberfläche erforderlich; die Spurrille der Schiene fällt mit der Öffnung des Kanals zusammen, sodass, wie beim gewöhnlichen Gleis, nur zwei Rillen die Strasse durchziehen. Die



Schi

Leipzig, Oskar Leiner.

ske).

Stromleitung erfolgt hier in einem unterirdischen Betonkanal, welcher sich unter der einen Fahrschiene hinzieht, ein Eiprofil von 28 *cm* Breite bei 33 *cm* Höhe besitzt und am Scheitel entsprechend der 33 *mm* breiten Rille der Schiene aufgeschlitzt ist. Gusseiserne, 18 *cm* breite, dem Kanalprofil entsprechend geformte Rahmen, die in Abständen von 1,2 *m* aufgestellt sind und bei der Herstellung des Kanals als Anhalt für die Schablonen dienen, sind zur Versteifung desselben, sowie zur Unterstützung und Befestigung der Schienen, ferner zur Aufnahme von Isolatoren für die Anbringung der Stromleitungen im Kanal benutzt worden. Die den Einzelschienen der Haarmann'schen Zwillingsschiene ähnlichen Fahrschienen sind an jene Rahmen mittels schmiedeeiserner Winkellaschen angeschraubt; dieselben sind genügend stark, um in der Mitte zwischen zwei solchen Unterstützungsstellen die grösste vorkommende Strassenlast zu tragen. Hierdurch wird eine angemessene Nachgiebigkeit des Oberbaues und ein damit verbundenes weiches Fahren bewirkt. Um eine Verengung des Schlitzes durch Zusammenrücken der Schienen zu verhindern, ist der Schienenfuss abgesetzt und legt sich gegen eine Nase des Bockes. In die Seitenflächen der Rahmen sind hülsenförmige, horizontal gelegene Isolatoren mit Isoliermasse eingegossen. Sie tragen die aus Winkeleisen 60 · 60 · 8 *mm* = 900 *qmm* hergestellten elektrischen Fahrleitungen mit einem Widerstand von 0,122 Ω/km, deren Anordnungen aus Fig. 182 hervorgehen. Zwischen diesen Winkeleisen schleift ein Kontaktschiffchen, das von einer unten am Wagen befestigten und durch die zweiteilige Schiene und den Schlitz hindurch in den Kanal hinabreichenden Vorrichtung mitgenommen wird und dergestalt beständig die Stromzuführung nach dem Wagen vermittelt. Die Leitungen selbst liegen hinlänglich hoch über der Kanalsohle, sodass das im Kanal sich ansammelnde Wasser unter ihnen abfliessen kann. In geeigneten Entfernungen sind alsdann Sammelschächte für das Kanalwasser angeordnet, aus denen dieses Wasser der Strassenkanalisation zugeleitet wird. Die zweite Fahrschiene, unter der kein Kanal erforderlich ist, kann nach irgend einem Schienensystem angeordnet sein.

Die Stromleitung findet nur allein durch die Winkeleisenschienen statt, sofern nicht besonders verlegte isolierte Speisekabel die Stromführung teilweise übernehmen.

In dieser Ausführung hat sich das System für Budapest wirtschaftlich und technisch ausgezeichnet bewährt, was daraus hervorgeht, dass man im Jahre 1896 zu ganz bedeutenden Erweiterungen des Strassenbahnnetzes überging und hierbei einige kleine Abänderungen, die eine bequemere Bedienung der Stromleitung ermöglichen, durchgeführt hat. Die Böcke umfassen mit zwei Armen das

eiförmige Kanalprofil von 340 *mm* l. Weite und 420 *mm* l. Höhe. Sie stehen auf Schotterbettung und dienen als Rippen des Kanals, der in Stampfbeton auf Holzlehren ausgeführt ist. Der Kanal leitet das durch den Schlitz eintretende Tageswasser in die städtische Kanalisation. Zu diesem Zwecke ist alle 50 *m* ein Anschlussschacht mit Schlammfang und Rückstauklappe angeordnet. Die Reinigung des Kanals lässt sich leicht durch flache Schieber von der ungefähren Form des Kanalprofils bewirken. Auch der Stromabnehmer hat eine andere Konstruktion erhalten müssen, weil er beim Übergang von den Aussenstrecken mit oberirdischer Fahrleitung in die Innenstadtstrecken

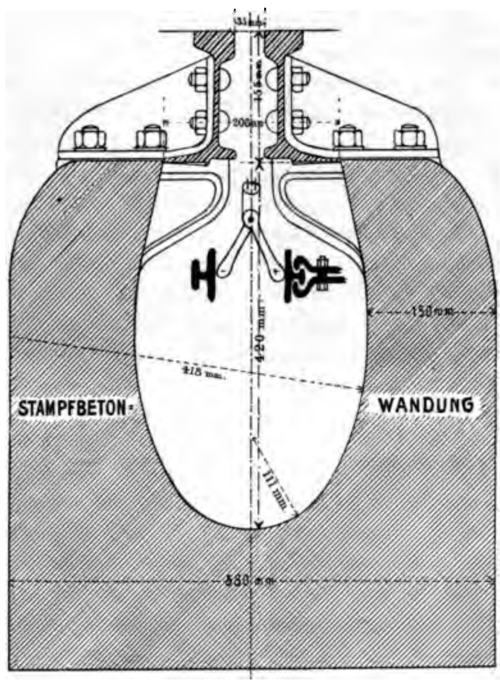


Fig. 183.

mit Schlitzkanal übergehen soll, was bisher nicht nötig war. Fig. 183 stellt den neuen Bock dar, dessen nicht sichtbare Umrisslinien durch den aus Stampfbeton hergestellten Cementkanal verdeckt sind. Die Isolatoren zum Halten der Stromleitungsschienen sind neuerdings nicht mehr an den gusseisernen Böcken horizontal befestigt, sondern zwischen denselben direkt an den Schienensteg in 2,5 *m* Entfernung angeschraubt, wie dies bei den nachstehend beschriebenen Berliner Ausführungen der Fall ist. An Stelle der Winkelschienen sind die

Stromleiter nunmehr Doppel-T-Schienen von 100 *qmm* Querschnitt und 10 *m* Länge, welche durch zangenförmige Klauen lose gefasst werden, um Temperaturbewegungen zuzulassen. Sie sind an den Stossstellen leitend verbunden und entsprechend den beiden Kanalwänden auf jeder Seite derselben angeordnet. Sie liegen vollkommen geschützt unter der Fahrschiene, sodass sie von oben durch den Schlitz weder gesehen noch berührt werden können. Gleichzeitig sind sie über der Kanalsohle derart hoch angeordnet, dass das im Kanal sich etwa ansammelnde Tagewasser unter den Leitungen fortfliessen kann, ohne diese zu berühren. Sobald die mit senkrechten Tropfkanten versehenen Isolatoren von oben durch die entsprechenden, mit Deckel versehenen Öffnungen an den Schienensteg angeschraubt worden sind, werden die mit elastischen Verbindungen versehenen Stromleitungsschienen durch den Schienenschlitz hinuntergelassen und in die zangenförmigen Klauen eingehängt. Alle diese Manipulationen werden vorgenommen, wenn der Kanal vollständig fertig ist, die Schienen verlegt und ausgerichtet sind und die Pflasterdecke hergestellt ist. Hieraus folgt, dass Isolatoren und Stromleiterschienen auch während des Betriebes herausgenommen und nachgesehen werden können, ohne dass es wie früher nötig wäre, das Pflaster aufzuheben oder den Kanal an der reparaturbedürftigen Stelle zu zerstören. Die Anordnung und Wirkung des Stromabnehmers ist in Fig. 183 schematisch angedeutet. Die beiden Pendel + und — (Stromabnehmerzungen) klappen beim Einführen und Ausheben des Stromabnehmers zusammen, sodass sie bequem durch die Rille geführt werden können, im übrigen federn sie auseinander und schleifen, wie gezeigt, an den senkrechten Flächen der T-Schienen.

Durch isolierte Leitungen wird der Betriebsstrom zum Wagenmotor geführt. Kreuzungen werden an der kurzen Übergangsstelle stromlos befahren, was anstandslos vor sich geht. Die T-Schienen sind an den freien Enden um so viel auseinandergebogen, dass die Pendel aus ihrer äussersten gespreizten Stellung durch die Anlaufstrecke wieder zusammengeholt werden. Findet, wie bei den zweiachsigen Wagen, nur ein, natürlich doppelpoliger, Stromabnehmer Anwendung, so werden an den Kreuzungen die Wagenglühlampen momentan erlöschen, ähnlich wie beim Überfahren der stromlosen Streckenisolatoren der Oberleitung. Bei den neuerdings in Betrieb befindlichen vierachsigen Wagen erhält jedes Drehgestell einen doppelpoligen Stromabnehmer, sodass auch diese kleine Unbequemlichkeit überwunden wird.

Die Herstellung der Kreuzungen und die Ausführung der Weichen ist bei den Siemens & Halske'schen Systemen eine derart einfache, dass das Befahren derselben anstandslos vor sich geht. Die dabei

entstehenden stromlosen Stücke der Leitungen sind gegen die früheren Ausführungen von 2 *m* Länge, bei den neueren verbesserten Ausführungen auf ungefähr 0,5 *m* herabgemindert.

Hierzu kommt noch, dass die Anordnung des Stromzuführungskanals, rechts in der einen Fahrrichtung, links in der anderen, den Übergang von dem einen Gleis auf das andere wesentlich erleichtert. Durch diesen Umstand wird einerseits die Durchdringung zweier Kanäle am Herzstück vermieden, was bei der Anordnung beider Kanäle in der Mitte notwendig wird, andererseits aber ist bei der

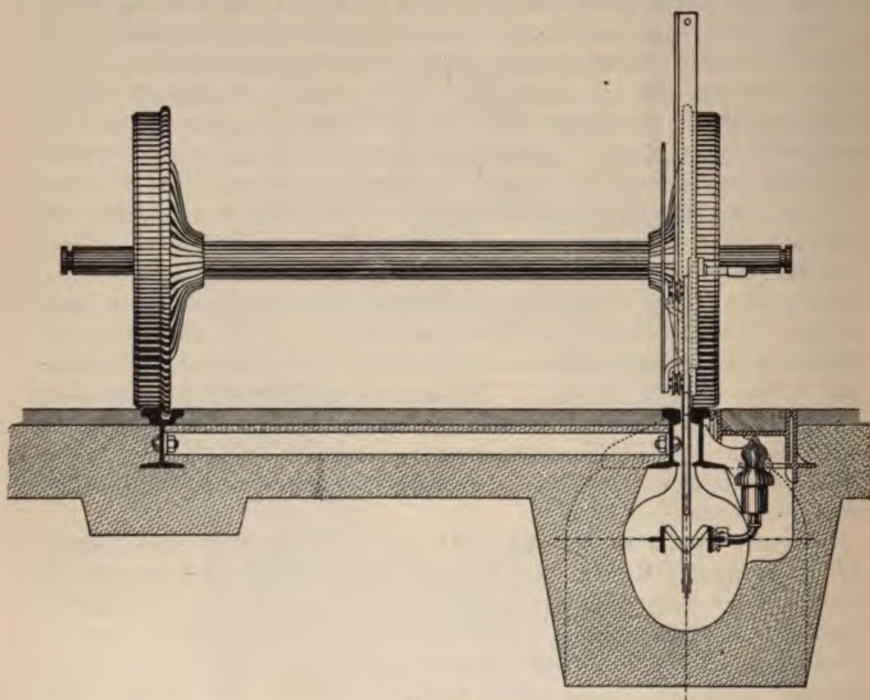


Fig. 184.

ersteren Ausführung für jeden Wagen nur ein Stromabnehmer erforderlich, da ein Wechsel desselben beim Befahren der Weichen nicht stattfindet, während bei der letzteren Ausführung notwendigerweise jeder Wagen zwei Stromabnehmer besitzen muss.

Das gemischte System zwischen einpoliger oberirdischer und zweipoliger unterirdischer Fahrleitung bedingt, dass man zwei gesonderte Stromkreise haben muss. In Budapest sind in der Kraftstation die Schaltbrett-Sammelschienen für beide Betriebsarten eingerichtet, sodass jede der Dynamomaschinen auf oberirdischen und

unterirdischen Stromkreis arbeiten kann. In Berlin, wo die gleiche Kombination vorhanden ist, hat man einen besonderen rotierenden Umformer für die Unterleitung aufgestellt, dessen Motor vom Haupt-



Fig. 185.

licht- oder Kraftnetz gespeist werden kann und dessen Dynamomaschine einen besonderen Stromkreis liefert. Ein wesentlicher Unterschied zwischen der von Siemens & Halske in Berlin (Behrenstrasse—Hollmannstrasse, 2,1 *km*) und der neuen Budapester Bauart liegt nur in der Art der Stromabnahme und des Stromabnehmers. Während es in Budapest vermieden wurde, unterhalb der kontaktgebenden Fläche noch Konstruktionsteile des Stromabnehmers zu haben, die im Kanal-Schnee oder -Wasser streifen können, hat man in Berlin die Pendel nach oben schlagen lassen und den Drehpunkt dieser Pendel tief gelegt. Der Kontakt findet nicht an der senkrechten Fläche, sondern an der oberen Kante der einfachen T-Schiene statt, wie dies Fig. 184 schematisch und Fig. 185 und 186 bildlich veranschaulicht. In dieser Zeichnung



Fig. 186.

ist ferner die Aufhängung der Kontaktschiene, welche mit der neuen Aufhängung in Budapest identisch ist, dargestellt. Bemerkenswert bei dem gemischten Betrieb ist die Vereinigung einer den Strom ausschal-

tenden Bewegung mit der Aushebebewegung des Stromabnehmers, um zu verhindern, dass Kontaktzungen beim Durchschlüpfen durch die Schienenrille Kurzschluss machen können, falls der oberirdische Wagenkontakt bereits am Fahrdraht anliegen sollte. Diese wird mittels einer im Kanal angebrachten schiefen Ebene bewirkt, auf welcher der unterirdische Stromabnehmer herauf- bezw. hinabrollt. Gleichzeitig werden hierbei die Zuleitungen zum Motor für den unterirdischen Stromabnehmer selbstthätig ausgeschaltet und mit dem oberirdischen Stromabnehmer verbunden.

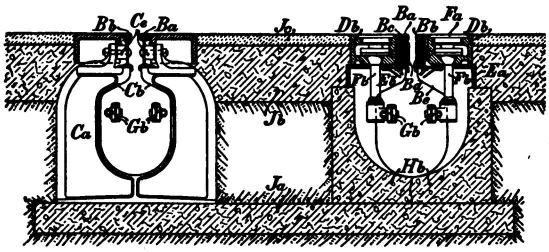


Fig. 188.

Die Betriebsspannung der alten Budapester Anlage (Stadtbahn) beträgt 300 Volt, die der neuen (Strassenbahn) 400 Volt, während die beiden Berliner Anlagen mit 500 Volt betrieben werden.

Die von der Union Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin hergestellte Unterleitung (Dönhofsplatz—Lindenstrasse und Bülowstrasse) von insgesamt 876 *m* Länge ist nach gleichem Prinzip gebaut aber mit einigen Formveränderungen versehen worden.

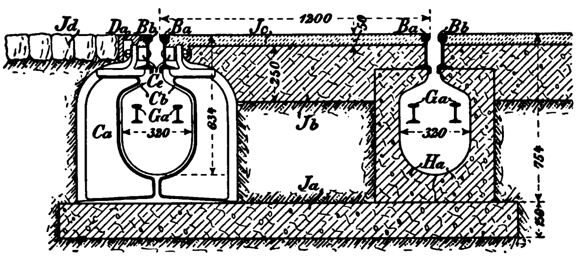
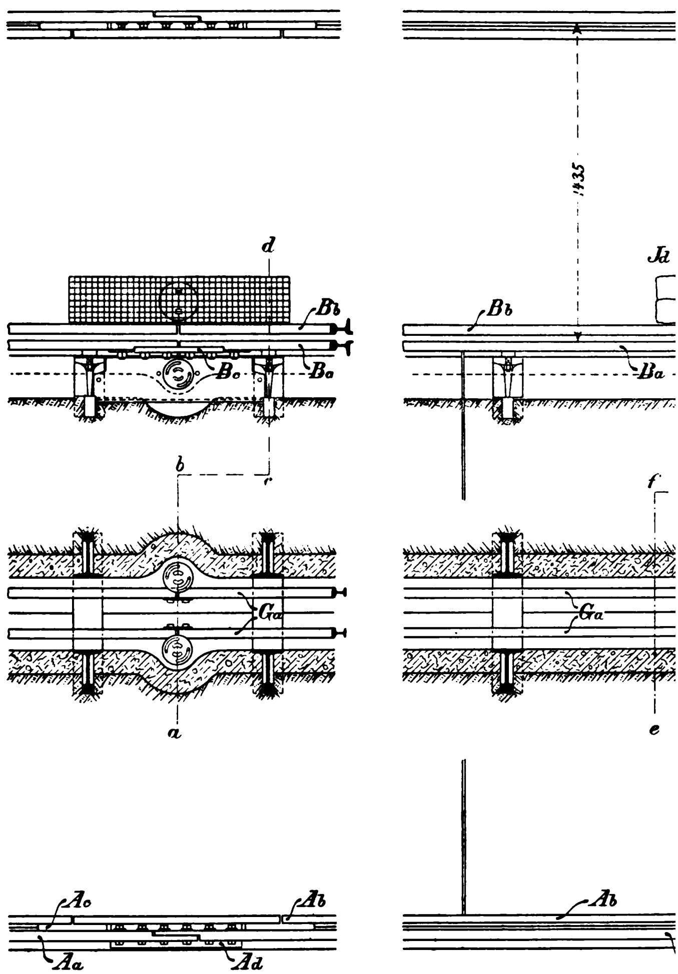


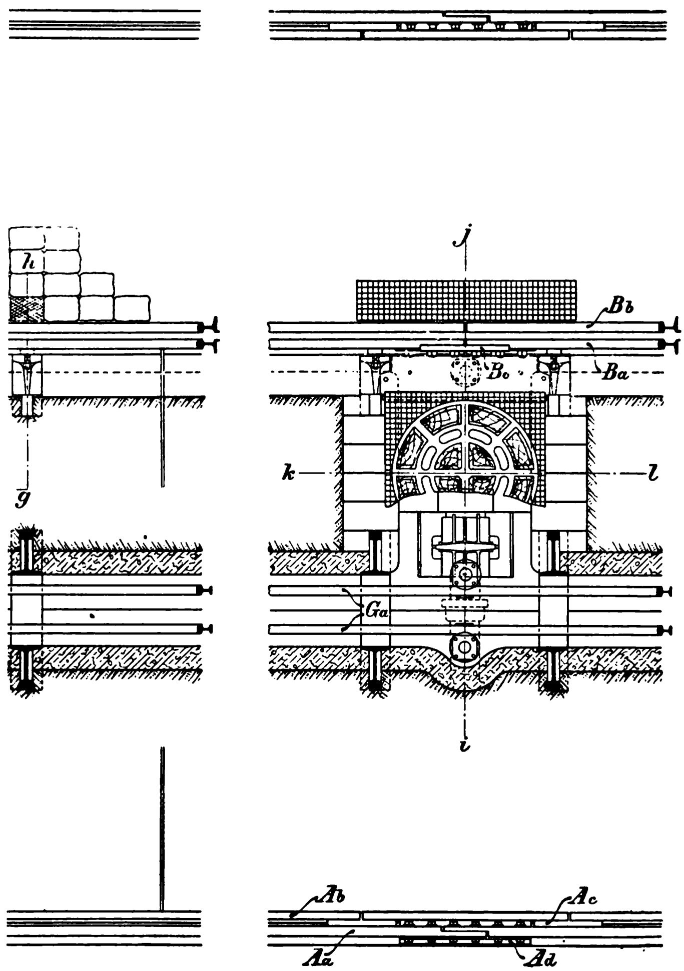
Fig. 189.

Kollmann berichtet über Bau und Betrieb dieser Anlage in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1896, No. 39, S. 1103, folgendes:

Der Kanal wird aus den gusseisernen Böcken Ca (Fig. 187—191) den Stampfbetonformstücken Ha, dem Stampfbetonfundament Ja, den Lauf- bezw. Zwangschienen Ba und Bb und den Leitungsschienen



d
Bb
Bc
Ba
b
c
Ga
a
Ac
Ab
Aa
Ad
1435
Jd
f
e



j
h
Bb
Ba
Bo
k
l
g
Ga
i
Ab
Ac
Aa
Ad

Ga gebildet. Den Boden des Strassenkanals bildet eine Stampfbetonunterlage Ja von etwa 1·5 *cm* Dicke; auf dieser Unterlage stehen die gusseisernen Joche Ca (Fig. 188 und 190), auf welchen die Lauf- und Zwangschienen Ba und Bb, beide von gleichem Profil, ruhen. Zwischen diesen Schienen bleibt der Kanalschlitz von 30 *mm* Breite zur Einführung des Stromabnehmers frei. Die gusseisernen Joche stehen regelmässig 1,20 *m* von Mitte zu Mitte auseinander, nur die den Schienenstoss tragenden Joche sind auf 80 *cm* Entfernung gestellt. Der Kanalschlitz wird von Vignolschienen von 8 *m* Länge und 26 *kg/m* Gewicht gebildet, die, um einen besseren Wasserablauf zu sichern, mit einer unter dem Schienenfuss hervorspringenden Kante versehen sind. Die beiden äusseren Stränge des Doppelgleises bestehen aus Haarmann'schen Verblattschienen. Die Vignolschienen sind an den Kanaljochen durch Schraubenbolzen und Beilagestücke Ce befestigt.

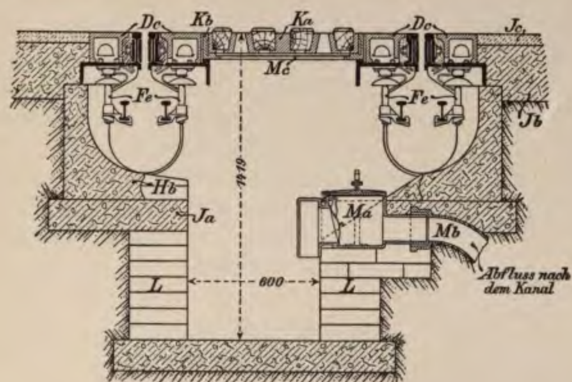


Fig. 190.

Die Dicke dieser Beilagestücke kann man verändern und auf diese Weise den Kanalschlitz überall genau gleich breit machen. Der Schienenstoss ist schwebend konstruiert, durch Traglaschen gesichert und mit der elektrischen Schienenverbindung versehen, da die Unterleitung auch einpolig befahren werden soll, bezw. während der Berliner Gewerbe-Ausstellung im Jahre 1896 befahren worden ist. Zwischen je zwei gusseiserne Joche werden nun, um den Strassenkanal abzuschliessen und sein Inneres zu einem vollkommen glatten, von allen vorspringenden Ecken und Kanten freien, oben offenen Rohr auszubilden, die bereits erwähnten Wände Ha aus Beton eingestampft. Dadurch wird dann der Strassenkanal zu einem in sich abgeschlossenen Ganzen von grösster Widerstandsfähigkeit gegen die schwersten Belastungen und gegen die Erzitterungen des Strassenkörpers. Entwässert werden die Strassenkanäle in der Weise, dass

alle 40 *m* in wagerechter Strecke und in jedem Gefälleknickpunkt die Einsteigeschächte vertieft, d. h. als Schlammfang ausgebildet werden und eine Rückstauklappe mit Wasserverschluss erhalten, an welche die Abflussleitung nach dem städtischen Kanalisationssystem anschliesst (Fig. 190 und 192).

Im Innern des Strassenkanals, und zwar auf der Seite und durch den Kanalschlitz nicht sichtbar, laufen die Kontaktschienen Ga (Fig. 188 und 189) in Form eines aufrechtstehenden I-Eisens mit abgerundeter Oberfläche; sie haben wie die Laufschienen eine Länge von 8 *m*, sind verlascht und mit elektrischer Verbindung versehen. Der Isolator besteht aus einem mit bestem Eisengummi umpressten Stahlbolzen Fe (Fig. 190), durch die Isolierhülle ist er sowohl von der Kontaktschiene als auch von dem Winkeleisen und somit von allen Eisenteilen des Kanalkörpers isoliert. Um die Isolation auch bei starken Regengüssen und bei über den Isolator hinunterlaufenden Tagewässern zu sichern, hat man ihn in seinem oberen Teile mit einer Regenkappe versehen, welche den unteren Teil scharfkantig überdacht und dessen Trockenheit gewährleistet. Der Isolator kann von der Strasse her ausgewechselt werden, und zwar mittels einer entsprechend schmalen Abdeckung längs der Schienen.

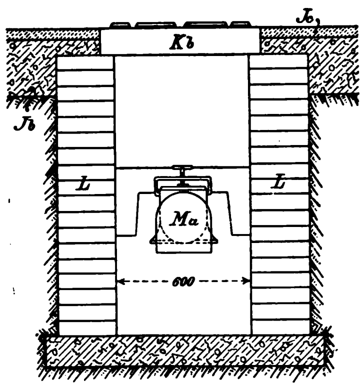


Fig. 191.

In dem Schnitt abcd (Fig. 188) und dem dazu gehörigen Grundriss (Fig. 187) ist die Anbringung der Isolatoren Fb dargestellt. Die Isolatoren hängen in der Mitte eines gusseisernen, etwa 1 *m* langen Kastens Db und sind in einem wagerechten Sitz mittels Flanschen und Schrauben in der Art befestigt, dass der Isolator zusammen mit seiner Kopfbekleidung aus dem Loch des Kontaktschienenhalters herausgezogen werden kann, wenn man die Schrauben löst und den Isolator mit einem besonderen Schlüssel um 90° nach links dreht. An der Stelle, wo man die Isolatoren auswechseln will, muss selbstverständlich die Kontaktschiene vor dem Herunterfallen gesichert werden. Dies geschieht durch ein Spezialwerkzeug, welches in den Kanalschlitz eingeführt und um 90° gedreht wird. Beim Auswechseln der Isolatoren muss der Kontaktschienenhalter, d. h. dasjenige Stück, in welches der untere Teil des Isolationsbolzens Fb hineingeht und das zugleich als Stosslasche der Kontaktschiene dient, an seinem Platze verbleiben. Durch die allgemein übliche doppelte Isolation, d. h. die Isolation einerseits der Kontaktschiene vom metallischen

Kern und andererseits des Kernes von den Metallteilen des Kanalkörpers, wird es ermöglicht, dass zur Nachtzeit ein Isolator nach dem anderen daraufhin geprüft werden kann, ob etwa an irgend einer Stelle eine der beiden Isolationsschichten schadhaft geworden ist. Die Kastenträger Db erhalten in der Mitte zur Überdeckung des Isolationsbolzens einen kleinen Deckel Fa, welcher mit Bajonettverschluss an seinem Platze befestigt ist und mit Hilfe der zwei im Grundriss sichtbaren Löcher und einer besonderen Zange um 90° gedreht und abgehoben werden kann. An dem Winkeleisen Ea ist ein Abtropfblech Eb vorgesehen, um etwa im Laufe der Zeit in der Spalte zwischen der Schiene Bb und dem Rahmen Db sich ansammelndes Wasser derart zu leiten, dass es nicht auf die Oberfläche der Kontaktschiene hinuntertropft. Im übrigen zeigen die Figuren ein vollständig ausgerüstetes Doppelgleis, bei welchem die beiden äusseren Schienenstränge aus Haarmann'schem Verblattoberbau bestehen.

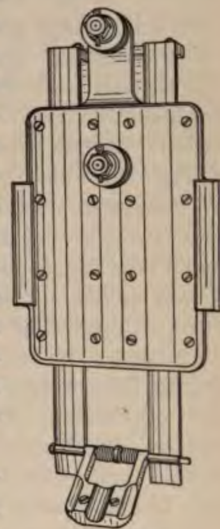


Fig. 192.

Der Stromabnehmer besteht aus einem Stahlgehäuse (Fig. 192), durch dessen Länge hindurch die beiden stromleitenden, von dem Gehäuse isolierten Klappenhalter führen, die am unteren Ende zwischen sich die federnde Kontaktklappe tragen. Befestigt ist der Stromabnehmer mittels zweier seitlich herausragender Zapfen z an zwei

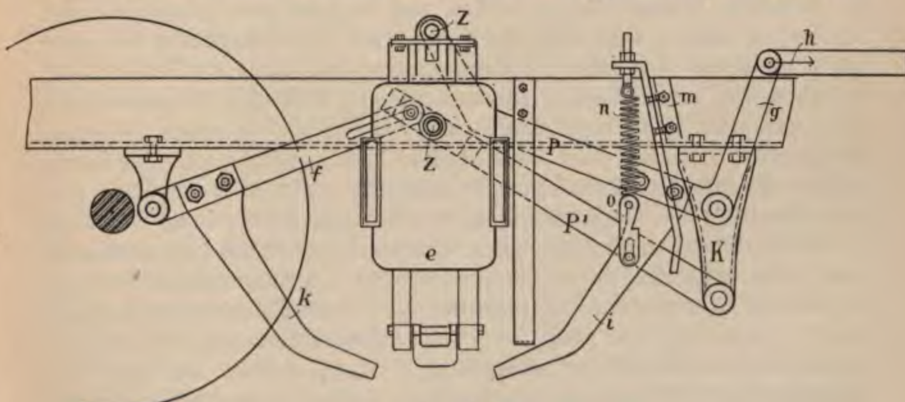


Fig. 193.

schmiedeeisernen Parallelhebeln P und P¹ (Fig. 193), welchean ihrem anderen Ende an einer Konsole K drehbar angebracht sind. Diese

Konsole ist ihrerseits fest mit den Längsträgern des Wagenuntergestelles verschraubt. Die zwei Drehpunkte am Stromabnehmer und die beiden Drehpunkte der Konsole befinden sich in gleichem senkrechten Abstande voneinander, und da ausserdem die Parallelhebel dieselbe Länge haben, so wird durch diese Drehpunkte stets ein Parallelogramm gebildet. Infolgedessen bleibt bei der Auf- und Abwärtsbewegung der Hebel der Stromabnehmer stets in senkrechter Lage. Mit dem oberen der beiden genannten Parallelhebel steht ein schmiedeeiserner Arm g in fester Verbindung, welcher durch ein Gelenk h mit einer Zug- und Druckstange verbunden ist. Diese Stange stellt die mechanische Verbindung zwischen dem Hebelwerk am Wagengestell und der Hebevorrichtung auf der Plattform her. Diese Hebevorrichtung wirkt derart, dass eine senkrecht durch den Boden der Plattform hindurchgehende Stange an den einen Schenkel eines Winkelhebels angreift, dessen anderer Schenkel gelenkig mit der vorerwähnten Zug- und Druckstange in Verbindung steht. Wird nun die Stange mittels eines in das Kopfende einzusteckenden Handgriffes hinuntergedrückt, so überträgt sich durch den Winkelhebel der senkrechte Druck auf die wagerechte Zug- und Druckstange, sodass der obere der beiden Parallelhebel, welche den Kontaktpflug halten, und damit auch der untere Hebel abwärts gedrückt wird. Bei diesen Hantierungen nun legt sich die federnde Kontaktzunge auf die Schienen, die Zungenhalter bewegen sich abwärts in den Schlitz des Stromleitungskanals hinein und zwingen die Kontaktzunge, sich zwischen ihnen in die Höhe zu drücken. Sobald dann der Stromabnehmer so tief in den Kanalschlitz eingeführt ist, dass die federnde Kontaktklappe seitlich von der Schienenunterkante abschnappen kann, legt sich die Klappe auf die Oberfläche der seitwärts im Kanal liegenden Leitungsschiene und stellt die Verbindung zwischen der unterirdischen Stromzuführung und den Wagenmotoren her. Da nun aber beim Einführen des Stromabnehmers jedesmal Kurzschluss zwischen dem oberirdischen Leitungsdraht und der Laufschiene mittels der Kontaktzunge entstehen würde, wenn diese mit dem oberirdischen Wagenkontakt in dauernder Verbindung wäre, so ist noch durch einen Umschaltmechanismus dafür Sorge getragen, dass stets entweder die oberirdische oder die unterirdische Stromzuführung an den Motor angeschaltet ist. Diese Umschaltvorrichtung wirkt gleichzeitig mit dem Auf- und Abwärtsbewegen des Stromabnehmers in der Weise selbstthätig, dass, sobald der Stromabnehmer hochgezogen, die oberirdische Leitung eingeschaltet und der Stromabnehmer hinabgelassen wird, die unterirdische Stromzuführung mit den Motoren in Verbindung kommt. Jeder Motorwagen besitzt zwei der beschriebenen Vorrichtungen, und zwar aus

dem Grunde, weil der Stromzuführungskanal beim Doppelgleis stets nach innen und somit immer links von der Fahrtrichtung liegt. Der Wagenführer bedient von dem Führerstande aus immer den auf der linken Seite angebrachten Stromabnehmer, während der rechts angebrachte Stromabnehmer nur von der anderen Plattform aus bedient werden kann und in seiner höchsten Lage verbleibt. Zu erwähnen ist noch, dass diese Ruhelage des Stromabnehmers dadurch gesichert wird, dass das Kopfende der Plattformstange mit einem an der Plattform befestigten senkrechten Flacheisen durch einen quer durch beide Flacheisen hindurchgesteckten Klappenstift festgehalten wird und dass folglich der Stromabnehmer erst dann hinabgedrückt werden kann, wenn dieser Klappenstift vorher entfernt worden ist.

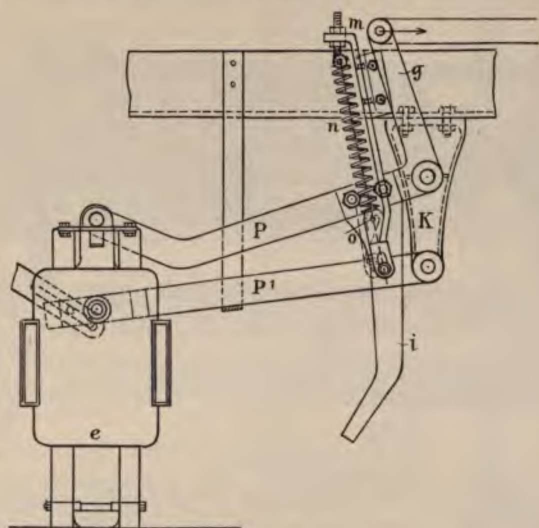


Fig. 194.

Um zu verhindern, dass der Stromabnehmer durch ein in der Schienenrille befindliches Hindernis abgebrochen werden könnte, oder um ein selbstthätiges Ausheben des Stromabnehmers am Endpunkt der Unterleitung zu bewirken, falls der Wagenführer das Ausheben vergessen haben sollte, ist noch eine, in Fig. 193 und 194 dargestellte Vorrichtung angebracht.

An einem Halter m des Wagens ist eine Feder n nebst Gelenk o, welches mit einer in den Halter m einschnappenden Einkerbung versehen ist, aufgehängt, während mit dem Hebel P des Abnehmers ein Hebel i verbunden ist. Wenn i an ein Hindernis im Kanal stösst, so hebt sich der Stromabnehmer e, wie aus den Fig. 193

und 194 ersichtlich, selbstthätig aus dem Kanal heraus. Der Winkelhebel fk dient dazu, denselben Erfolg beim Rückwärtsfahren des Wagens hervorzubringen.

Fig. 193 stellt den Stromabnehmer in der ausgehobenen Stellung, Fig. 194 in der eingelegten Stellung dar. Man ersieht aus letzterer Figur, dass die Einkerbung im Gelenk o den Stromabnehmer in der untersten Lage sperrt und erst beim Ausklinken die Feder n zur aushebenden Wirkung gelangen lässt.

Wohl als das älteste der unterirdischen Stromzuführungssysteme ist das Bentley-Knight'sche zu betrachten. (Vergl. Fig. 195.) Dasselbe besitzt einen vom Gleiskörper vollkommen abgesonderten Kanal neben der Schiene. Der Kanalschlitz sollte sich hier durch die eigenartig geformten und aufgestellten Winkeleisen W selbstthätig

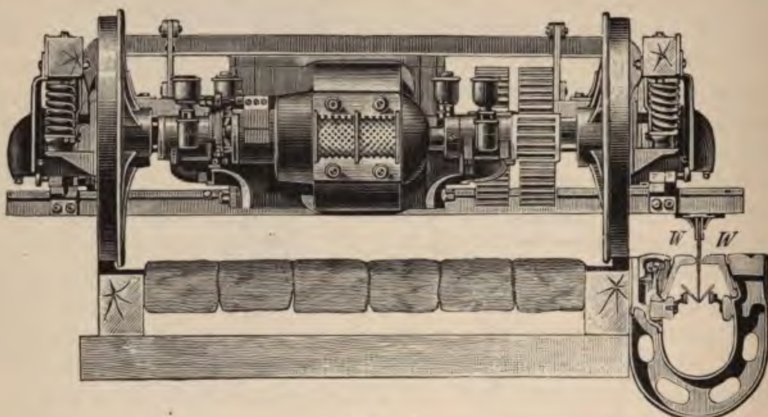


Fig. 195.

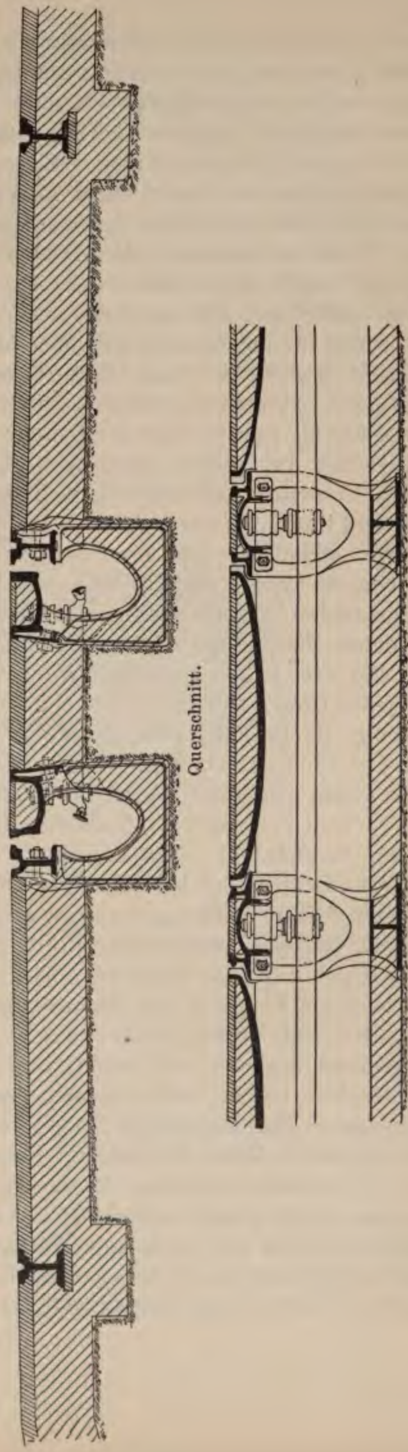
schliessen, sobald der Stromabnehmer diese Deckel bildenden Winkeleisen verlassen hatte. Nach diesem System sind Probeausführungen in Boston und New-York erfolgt, ohne für weitere Ausbildung durchschlagend geworden zu sein. Die Beweglichkeit der Deckelschienen in Strassenschmutz, Schnee und Eis konnte auf die Dauer nicht erhalten bleiben.

Das in Dresden in einer Länge von 466 *m* unter dem Namen des städtischen Baurates Klette bekannt gewordene und zur Ausführung gelangte System besitzt grosse Ähnlichkeit mit dem Bentley-Knight-Kanal und dem in Blackpool[1]) seiner Zeit angewandten System,

[1]) Das in Blackpool zur Verwendung gekommene System von Holroyd Smith ist in dem Werke: »Elektrische Kraftübertragung« von Gispert Kapp, 1891, I. Aufl., S. 285, näher beschrieben. Dasselbe widerspricht den heutigen Konstruktionsprinzipien, da der Kanal nicht tiefer als Schienenhöhe war.

mit welch' letzterem es die Abdeckung des Kanals durch besondere, die Schlitzbegrenzung bildende Deckel gemeinsam hat. Es ist die erste in Betrieb gelangte **einpolige** Unterleitung. Fig. 196 stellt einen Querschnitt und Längsschnitt der Strassendecke dar. Das Konstruktionsprinzip für diese Unterleitung war dadurch gegeben, dass man einen Kanal neben vorhandener möglichst unanzutastender Schiene bauen wollte, um die von der Stadt verwaltete Leitungsanlage der elektrischen Bahn (sowohl oberirdisch wie unterirdisch) völlig getrennt von dem den Strassenbahnen gehörigen Bahnkörper durchführen zu können. Bei der Ausführung stellte sich jedoch heraus, dass man Kanal und Gleis zusammen einbauen müsse, um eine sichere Lage des einen zum anderen zu erhalten.

In den Böcken sind die Isolatoren zur Befestigung der Stromleitung untergebracht und nicht direkt von oben zugänglich. Zwischen den Böcken ist die Pflasterdecke mit einem abnehmbaren, mit Cement und Asphalt gefüllten gusseisernen Deckel geschlossen, welcher zugleich die Begrenzung des neben der Schiene liegenden Schlitzes bildet. Bei abgehobenen Deckeln ist die Zugänglichkeit zum Isolator und zur Stromleitungsschiene ermöglicht. Eine besondere Schwierigkeit lag in



Querschnitt.

Fig 196. Längenschnitt.

der Konstruktion des Stromabnehmers, welche, da sowohl die Böcke als auch die Schienen gegenüber der Fahrleitung unter Spannung stehen, Kurzschluss bei den geringsten Beschädigungen des Stromabnehmers begünstigt. Die gusseisernen Deckel werden mit der Zeit klapprig, weil der Kanal geringe Bewegungen mit dem Erdreich mitmacht und die Deckel nicht nachgiebig sein können. Man geht nunmehr beim Weiterbau nach diesem System mit dem Gedanken um, die Deckel zwischen den Böcken wieder fortzulassen bezw. festzulegen und in dem Bock selbst die Zugänglichkeit zu dem Isolator zu ermöglichen. Als ein besonderer Vorzug kann es jedoch nicht gelten, wenn der Isolator an dem unter Spannung stehenden Bock befestigt ist, ebensowenig lehrt diese Ausführung einen Vorteil des einpoligen Systems gegenüber dem zweipoligen, zumal die Herstellung des letzteren nur unbedeutend mehr kostet als die des ersteren.

Es ist bei diesem System besonders schwierig, Weichen und spitze Kreuzung herzustellen, weil der Kanal ausserhalb der Schiene liegt und innerhalb der beiden Gleise. Man hat sich bei den Weichen dadurch geholfen, dass man bei der Übergangsstelle zu beiden Seiten des Gleises Kanäle einbaut und von Hand oder selbstthätig die kontaktgebenden Stromabnehmer wechselt. Diese Überdeckungskanäle verteuern die Anlage und machen den Betrieb kompliziert.

Die drei Rillen im Pflaster (zwei Schienenrillen, eine Schlitzrille für jedes Gleis) sind nicht zu den Annehmlichkeiten zu zählen, ebensowenig die Deckelkanten, die dem vorbeigeführten Stromabnehmer keine glatte Kante bieten. Kleine unvermeidliche Vorsprünge nicht ganz genau liegender Deckel beschädigen leicht den Stromabnehmer, der an sich ein sehr empfindliches Instrument darstellt. Man ziehe hierbei in Betracht, dass innerhalb einer 30 *mm* breiten Rille eine kupferne Leitung mit beiderseitiger Isolationsschicht und beiderseitiger eiserner Schutzwandung so angeordnet werden muss, dass noch genügend Luft für leichtes Durchführen durch den Schlitz bleibt. Beim zweipoligen System bedeutet diese Anordnung doppelte Isolation, während sie hier nur als einfache gegen die stromführenden Laufschienen und Böcke gelten kann. Die äussere Form des Stromabnehmers und der zur Bethätigung erforderliche Hebelmechanismus ähneln dem vorher beschriebenen, nur sind vorn und hinten kleine Rädchen so tief angebracht, dass bei der schrägen Aus- und Auflaufschiene im Kanal die Kontaktzunge nicht an diese anstossen kann.

Die Betriebsspannung dieser Anlage ist 500 Volt.

Ein in England und Amerika zu einiger Bedeutung gelangtes System ist das von dem Amerikaner Love erfundene und nach ihm benannte System. Es ist praktisch in Washington von der Love Electric Traction Company ausgeführt und soll sich sehr bewährt haben.

Love wendet eine mit Schlitz versehene Mittelschiene an, während die Laufschienen gewöhnlicher Art sind. Der unter der geschlitzten Mittelschiene liegende Leiterkanal ist so ausgebildet, dass die Stromleitung dicht unter der Strassenoberfläche liegt und somit noch weniger vom Strassenwasser erreicht wird. Auch ist die Kanalabdeckung so bewirkt, dass man jederzeit in das Innere des Kanals und zu den Stromleitungen gelangen kann. Die Stromleitung und die Stromabnahme ist ähnlich wie beim oberirdischen System.

Durch die Fig. 197 und 198 ist das Wesentliche dieser Stromleitung gekennzeichnet. Eine grosse Schwierigkeit liegt auch hier in der isolierten Durchführung des Zuführungskabels zum Wagen. Das aus Stahlplatten gebildete Schlitzstück am Kontaktwagen ist der Abnutzung sehr unterworfen.

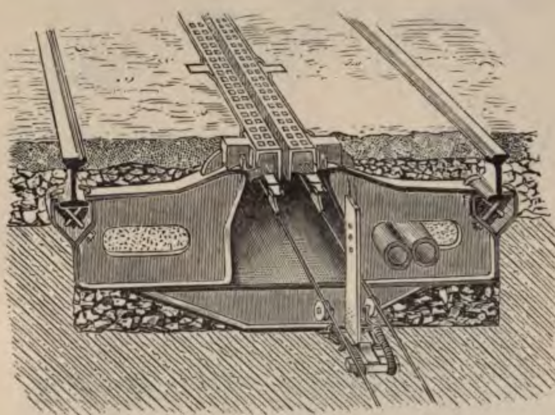


Fig. 197.

Ein unter dem Namen »Griffen« bekannt gegebener unterirdischer Stromleiterkanal ist der durch Fig. 199 gekennzeichnete. Hier beabsichtigt man, das Strassenwasser von dem Stromleiter durch die sonderbare Form des Kanalinneren abzuhalten.

Der durch »Hörde« bekannt gewordene unterirdische Stromleitungskanal ist vollständig in Eisen hergestellt. Sowohl Querträger als auch Kanalröhre bestehen aus gepresstem Blech mit Versteifungsrippen. Der Hörde-Kanal zeigt in den übrigen Teilen grosse Ähnlichkeit mit dem Love'schen System und ist in einer Probestrecke auf dem Hüttenwerke zu Hörde ausgeführt worden. Praktische Anwendung im Betriebe hat derselbe noch nicht zu verzeichnen gehabt. Ein näheres Eingehen auf diese Ausführung rechtfertigt sich dadurch, dass sie prinzipiell mit manchen ausländischen Ausführungen übereinstimmt.

In den Fig. 200—203 ist das Hörde-Love'sche System in allen seinen gut durchkonstruierten Einzelteilen dargestellt.

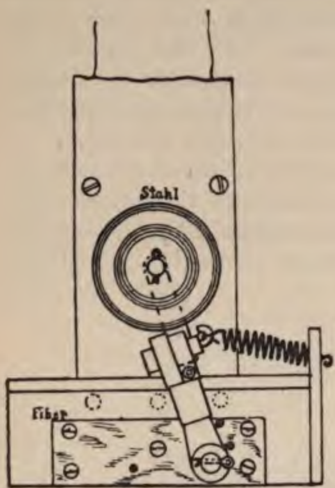


Fig. 198.

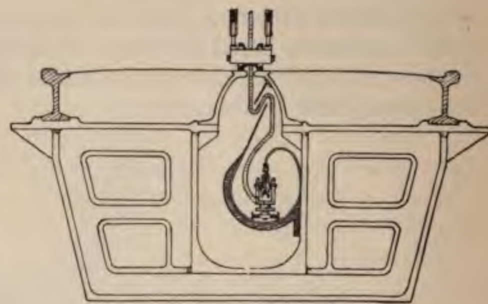


Fig. 199.

Die Rillenschienen a sind auf Böcken b mittels Klemmplatten befestigt. Diese Böcke b sind aus einem Stück Blech gepresst und

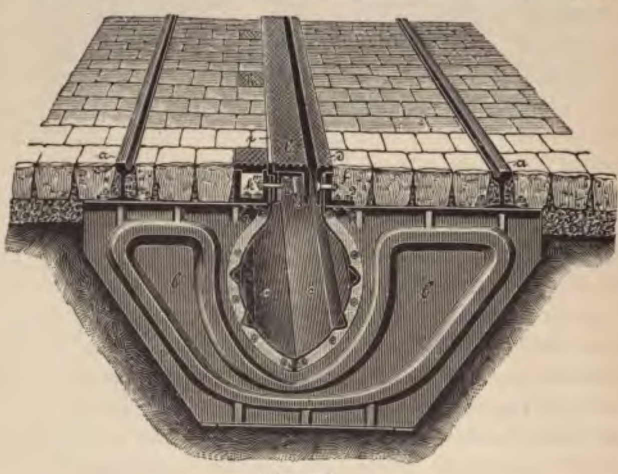


Fig. 200.

besitzen in der Mitte eine Öffnung, welche genau dem Profile des Entwässerungskanales entspricht. Gleichzeitig angepresste Rippen dienen zur Verstärkung.

Die Böcke b, welche in einer Entfernung von 1,5 *m* angebracht sind, sind durch ebenfalls aus einem Stück gepresste Kanalwände c derart verbunden, dass ein vollkommen dichter Entwässerungskanal entsteht, der oben der ganzen Länge nach offen ist.

Die Gusswinkel g und Gusskasten k dienen zur Befestigung des oberen Teiles der Kanalwände c mit den Böcken b, während zur Versteifung dieser oberen Kanalwandteile einesteils das oben geriffte

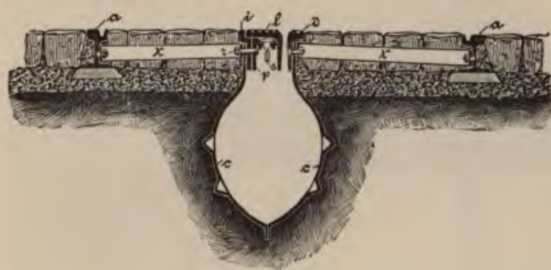


Fig. 201.

Winkeleisen d, anderenteils das Profileisen i dienen. Diese beiden Versteifungseisen werden gleichfalls mittels der Gusswinkel g und der Gusskasten k mit den Böcken b verbunden, während die Schrauben m die Gusskasten mit den Kanalwänden c und dem Profileisen i verbinden.

Der obere Teil des Entwässerungskanales, welcher die Stromzuführung s enthält, wird durch das oben geriffte Winkeleisen l

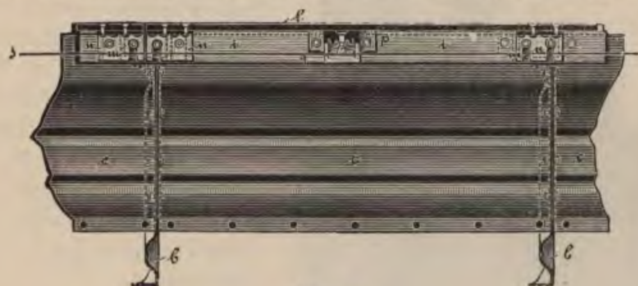


Fig. 202.

verdeckt. Die an letzteres angenieteten Tragwinkel n dienen zur Befestigung desselben mit dem Profileisen i, welche mittels Schrauben geschieht. Diese Tragwinkel n haben nach unten offene Schlitze, mit Hilfe deren sie auf die Schrauben aufgesetzt werden können, worauf dann letztere festgeschraubt werden.

Zwischen je zwei Böcken b sind Gusskonsolen p mittels Schrauben am Profileisen i derart festgemacht, dass der Winkel l darauf ruhen

kann. Gleichzeitig dienen einzelne dieser Konsolen als Drahthalter und die Querverbindungen t zwischen den gepressten Blechträgern als Spurstangen.

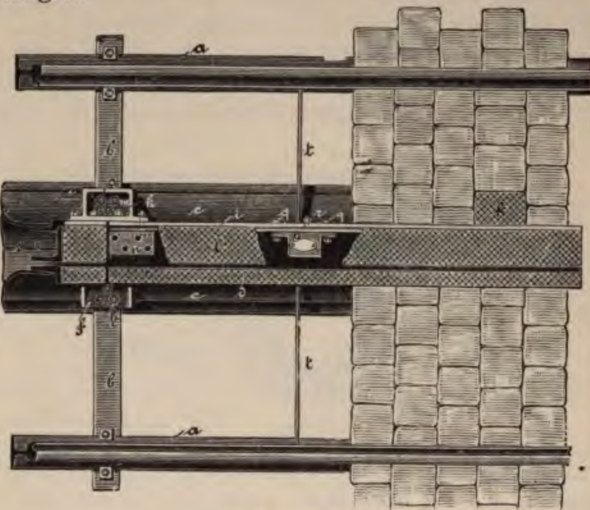


Fig. 203.

Die Stromleitung ist sehr hoch gelegen, kann also vom Wasser nicht berührt werden. Ein Fehler der Konstruktion ist, dass bei den beschränkten Raumverhältnissen in der Nähe des Fahrdrahtes leicht Kurzschluss entstehen und bestehen bleiben kann. Zur Vermeidung dieses Übelstandes hat man die inneren Eisenteile mit einer Asphaltschicht überzogen. Eine Vergrösserung der Masse würde eine wesentliche Verteuerung der Anlage bedingen.

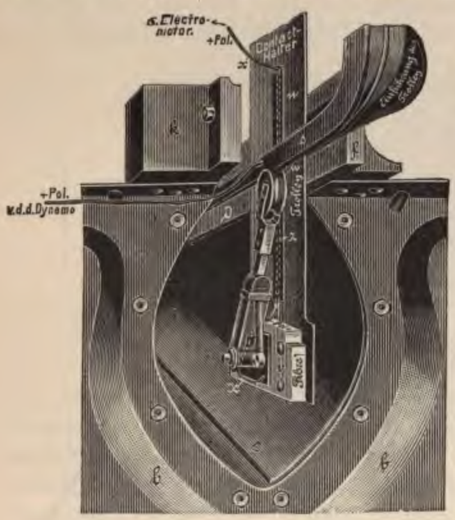


Fig. 204.

Soll nun am Stromleiter irgend etwas repariert werden, so werden die Winkeleisen l entfernt und man kann an jeder Stelle an denselben gelangen.

Fig. 204 stellt die Einführung des unterirdischen Stromabnehmers bei einer Bahn dar, die

zum Teil mit oberirdischer Stromzuführung, zum Teil mit unterirdischer ausgeführt ist. Um dies einfach zu ermöglichen, ist der eine Pol an den eisernen Kanal bezw. an die Laufschienen, der andere an eine besonders hergestellte, gut isolierte Drahtleitung angeschlossen.

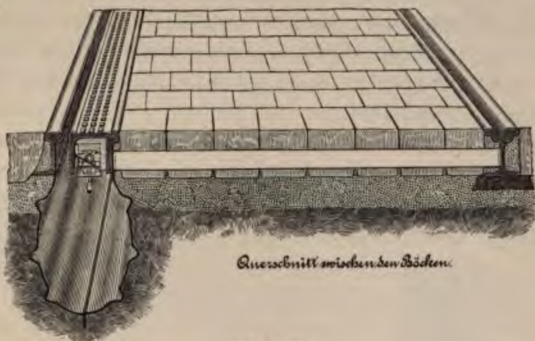


Fig. 205.

Der in Fig. 205 und 206 dargestellte Kanal nach Hörde'schem System unterscheidet sich von dem vorher beschriebenen nur durch eine andere Anordnung des Stromzuführungs- und Entwässerungskanals. Letzterer ist hier direkt unter der einen Fahrschiene, wie bei den Budapester und Berliner Systemen, angebracht.

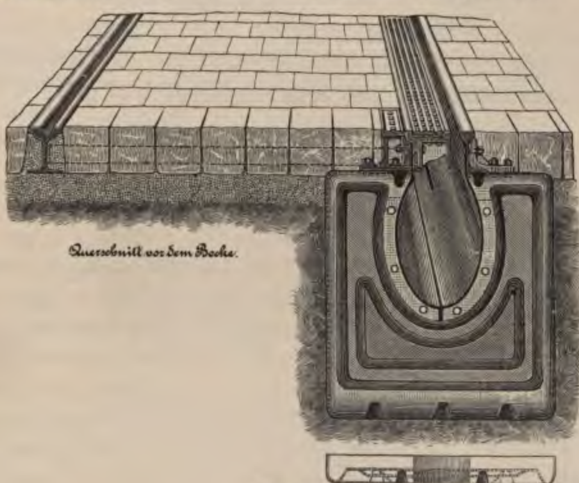


Fig. 206.

Die durch diese Anordnung erzielte Vereinfachung hat auch eine Reduktion der Anlagekosten zur Folge, da die Verlegekosten wegen Verminderung der Ausschachtungen verringert werden. Die ge-

pressten Böcke werden kleiner und leichter, ferner werden die wegfallende eine Rillenschiene und das ebenfalls wegfallende kleinere geriffte Winkeleisen durch die Fahrschiene ersetzt.

Während bei der vorher beschriebenen Ausführung ausser den zwei, durch die Rillenschienen hervorgerufenen Strängen, von den zwei geriffelten Winkeleisen noch ein dritter, in der Mitte des Gleises liegender, Strang gebildet wird, ist bei gegenwärtiger Anordnung die Anzahl dieser den Verkehr unangenehm berührenden Eisenstränge von drei auf zwei reduziert.

Entgegen diesem, vollständig aus Eisen hergestellten Kanal hat Baurat Philippi einen solchen fast **nur aus Beton** angegeben und erreicht damit eine wesentlich billigere und fabrikmässige Herstellungsweise und eine leichte Entwässerung.

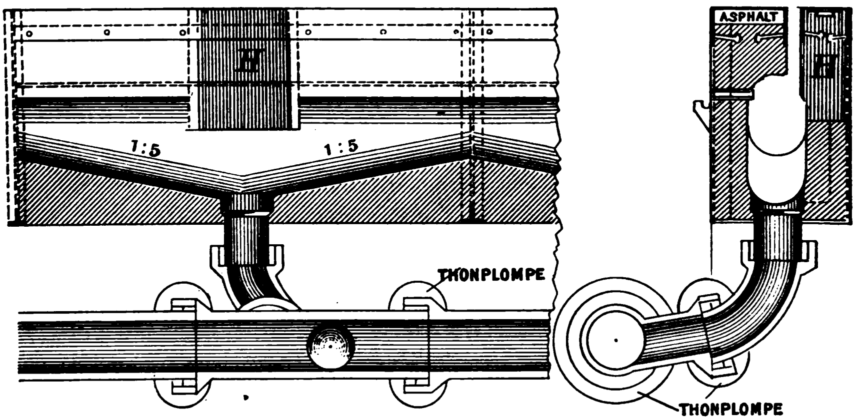


Fig. 207.

Jedes aus einem Stück hergestellte Kanalstück (Fig. 207) von 1,25 *m* Länge besitzt einen Gefällstiefpunkt, welcher in ein besonders angelegtes Wasserabfallrohr von 15 *cm* Durchmesser entwässert. Das übliche Thonrohr kann mit den einfachsten Mitteln verlegt und unterhalten werden. Das am tiefsten gelegene Entwässerungsrohr wird in gewöhnlicher Weise an die Hauptkanalisation angeschlossen. Die häufige Wasserabführungsgelegenheit hat zur Folge, dass der Stromleiterkanal verhältnismässig klein sein kann, da Wasser in demselben nicht stehen bleibt. Die Leitungskästen können ihrer kleinen Dimensionen wegen mit genügender Festigkeit durchgeführt werden. Zur Unterstützung der Cementkonstruktion dient ein schmiedeeiserner genieteter Rahmen, der aber vollständig aus dem Bereich des stromführenden Kanalinnern liegt. Angestellte Festigkeitsproben haben ergeben, dass ein Kanal von den angegebenen Massen jeder beliebigen

Strassenlast Widerstand leistet, woraus sich die Verwendbarkeit des Kanals im Strassenpflaster ohne weiteres ergiebt.

Die Verlegungsart des Kanals nach Art gewöhnlicher Pflastersteine macht ihn leicht verwendbar. Man denke sich das einzelne Kanalstück als einen Pflasterstein von 1,25 *m* Länge, 60 *cm* Höhe, 35 *cm* Breite auf ein genügendes Sandfundament gestellt, eventuell noch nach Art der Schienenlegung unterstopft, die Einheiten des Kanals aneinander gereiht, die Fugen mit Asphalt vergossen und der Kanal ist fertig. Die Isolatoren können von Haus aus eingesetzt sein, das Einlegen der Stromleiterschienen erfolgt in üblicher Weise durch den Schlitz. Die Zugängigkeit zum Isolator bezw. zur Leiterschienenbefestigung erfolgt durch einen in der Zeichnung mit Holzklotz H abgedichteten Eingriffsschacht. An Stelle des Holzklotzes kann selbstverständlich ein entsprechend geformter Beton- oder Asphaltklotz in die freizulassende Öffnung eingelegt werden, wodurch das homogene Gefüge des Strassenpflasters nicht gestört wird. Die Einfachheit der Herstellung des Kanals, die einfache in vorstehendem beschriebene Verlegung des Kanals und Herstellung der Entwässerung desselben lassen vermuten, dass die Baukosten dieser unterirdischen Stromzuführung billig werden.

Alle diejenigen Konstruktionen unterirdischer Stromzuführungen, welche die denkbar beste Isolation gegen Erde sowie zwischen den Polen des Betriebsstromes erreichen, sind für den Betrieb und für geringe Betriebsverluste die am meisten begehrten. Man hat bei den besten Systemen beobachtet, dass der negative Pol eine bedeutend grössere Neigung zum Erdschluss besitzt als der positive, was zu ganz besonderer Vorsicht bei der Konstruktion mahnt.

b) Der geschlossene Teilleiterkanal.

Verfolgt man die erteilten und nachgesuchten Patente aller Länder für diesen Gegenstand, so muss man erstaunt sein, wieviel Scharfsinn und geistige Arbeit zur Lösung der Aufgabe verschwendet worden ist. Praktische Versuche sind hier und da gemacht worden, aber nirgends ist eine endgiltige Konstruktion zur Einführung gelangt, obgleich die Kunde von einer bewährten Methode öfters erscholl.

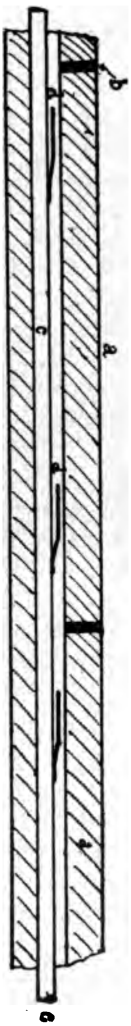
Wir können es daher nur als unsere Aufgabe betrachten, in grossen Zügen den bisher verfolgten Weg der Erfinder zu skizzieren.

Die Schwächen aller bisherigen Teilleiterkonstruktionen bestehen im wesentlichen:

a) in der Schwierigkeit, einen dem Zweck entsprechenden Kanal im Strassenpflaster so zu verschliessen, dass er vor schädlicher Feuchtigkeit und schädlichen Gasansammlungen genügend geschützt werden kann;

b) in der Schwierigkeit, die im Kanal liegenden Apparate und Kontakte auf die Dauer betriebsfähig zu erhalten;

c) in den hohen Kosten, welche die gute Isolierung zwischen dem Teilleiter und den als Leiter benutzten Laufschienen verursacht, um Kurzschlüsse und ständige Stromverluste zu vermeiden;


Fig. 208.

d) in der Schwierigkeit, Funkenbildungen, Abschmelzungen und Explosionen beim Ausschalten der Kontaktflächen in den Apparaten zu vermeiden;

e) in der Schwierigkeit, die Kontaktapparate leicht auswechseln zu können, um sie auf ihren Zustand in der Werkstatt prüfen zu können;

f) in der Betriebsunsicherheit, welche durch obiges bedingt wird.

Die Vorzüge des fraglichen Systems gegenüber dem oberirdischen Stromzuführungssystem sind lediglich in den Forderungen der Ästhetik, gegenüber dem Schlitzkanalsystem, in denen der Billigkeit im Bau und bei zweckentsprechender, einfacher und solider Ausführung auch im Betriebe zu suchen.



Fig. 209.

Eine der ältesten Konstruktionen ist[1]) die von Pollak & Binswanger, Paris (1886), und bestand im wesentlichen aus 1—1,5 *m* langen, nebeneinander parallel laufenden, elektrisch verbundenen, jedoch magnetisch von einander isolierten Stromzuführungsstücken a. (Fig. 208 und 209.) Jedes solche Schienenpaar war von dem nächstfolgenden durch ein Zwischenstück b isoliert. Unter dieser Schienenlinie und zu ihr parallel befand sich ein Kabel c, das mit einem Pol der Elektrizitätsquelle verbunden war, wogegen mit dem anderen die gewöhnlichen Laufschienen in Verbindung standen.

An dem Kabel waren in kleinen Entfernungen voneinander kurze Bänder oder Streifen aus Eisen d befestigt und zwar so, dass sie nahe den Schienenstücken lagen, diese jedoch nicht berührten. Die Schienenstücke waren also stromlos.

Wenn sich so einem Schienenstücke ein Magnet, am zweck-

---

[1]) Nach einem Vortrag des Erfinders, veröffentlicht in der ETZ 1891, S. 275 ff.

mässigsten von Hufeisenform, nähert, werden die Eisenbänder angezogen, kommen mit den Schienenstücken in leitende Verbindung, und der Strom kann oben abgenommen werden.

Einen solchen Magnet trägt der Wagen, der zu gleicher Zeit auch mit Elektromotor, Reguliervorrichtung u. s. w. ausgestattet ist. Der Magnet befindet sich unter dem Wagen und ist in der Mitte befestigt. Das durch denselben beeinflusste, stromabgebende Schienenstück liegt also unter dem Wagen. Da nun diese Schienenstücke kürzer sind, als die Hälfte des Wagens, so sind die Strassenpassanten keiner Gefahr ausgesetzt, auch wenn sie dicht vor oder hinter dem Wagen die Schienen überschreiten. Unter jedem Schienenstücke befinden sich zwei Kontakte, und der am Wagen befestigte Magnet ist so breit, dass beim Fortbewegen des Wagens die Kontakte des einen Stückes noch angezogen bleiben, während die des anderen schon angezogen werden; somit entstehen auch keine Abreissfunken innerhalb des Kanals, die ein Abschmelzen der Kontakte bewirken könnten und die Sicherheit des Betriebes in Frage stellen würden.

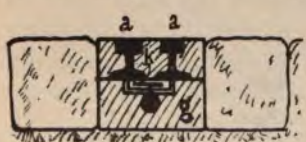


Fig. 210.

Das Spiel des Anziehens und Abfallens der Kontakte wiederholt sich beim Fortbewegen des Wagens längs der Strecke.

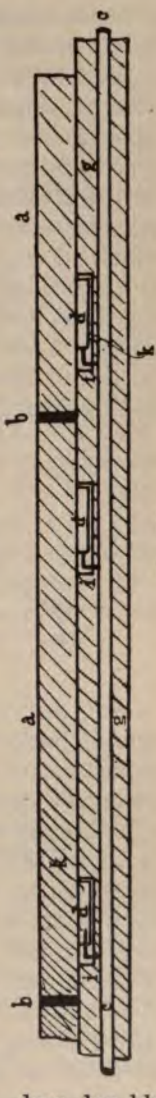


Fig. 211.

Die Schienen schliessen mit der Oberfläche der Strasse ab.

Als sich aber durch Versuchsstrecken herausgestellt hatte, dass ein vollständig wasserdichter Kanal in den Strassen praktisch nicht herzustellen und zu erhalten war, dass die Schienenstücke und Eisenbändchen, wenn auch verzinnt, rosteten und dadurch mangelhaften Kontakt gaben, dass bei regnerischem Wetter die Passanten infolge von Kurzschlüssen durch Feuchtigkeit elektrischen Schlägen ausgesetzt waren, und dass im Winter die Kontakte anfroren, musste diesen Übelständen dadurch Abhilfe geschaffen werden, dass das bleiumhüllte Kabel c in eine Holz-, Stein- oder Cement-Rinne g (Fig. 210 und 211) eingebettet und mit Isoliermaterial umgossen wurde. Von diesem Kabel führen Abzweigungen i, auch unter Blei, zu den be-

weglichen Kontaktstücken d, die sich in hermetisch geschlossenen, aus nicht magnetischem Metall hergestellten Büchsen k befinden und darin so angebracht sind, dass sie mit den Büchsen nicht in leitender Verbindung stehen. Diese Büchsen sind an den Schienenstücken befestigt und folgen diesen bei jeder eventuellen Deformation. Es kann also bei dieser Konstruktion durch die Annäherung der Schienenstücke zu keiner Verbindung mit dem Kabel oder den Kontaktbändern kommen. Der Abstand des Kontaktstückes von der Wandung der Büchse und Schiene bleibt immer derselbe. Das Kabel c kann auch neben den Schienen liegen, ferner kann dasselbe sehr dünn sein und von Strecke zu Strecke mit einem Hauptkabel in Verbindung gesetzt werden. Die Kontaktbüchsen werden bis zu einer Stromstärke von 100 Ampère gebaut, und da sie hermetisch verschlossen sind und keine Funkenbildung stattfindet, bleiben die Kontakte rein und verlässlich. Feuchtigkeit übt keinen Einfluss mehr aus, der Betrieb wird durch Kälte nicht gestört. Ein Betrieb hat sich jedoch auch mit diesen genannten Verbesserungen nicht durchführen lassen.

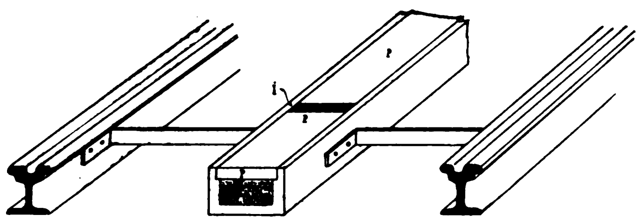


Fig. 212.

Auf der elektrotechnischen Ausstellung in Frankfurt am Main zeigte Schuckert-Nürnberg auf der Strecke »Ausstellung-Mainufer« eine recht eigenartige Stromzuführung. In einem kleinen geschlossenen unmagnetischen Kanal in der Mitte des Gleises lag auf dem Boden ein blanker Leiter L. (Fig. 212.) Die Decke des Kanals war gebildet aus kurzen Eisenplatten P von halber Wagenlänge, welche in der Längsrichtung ebenfalls voneinander durch das Zwischenstück i isoliert waren. Der von Deckel P und Leiter L gebildete Zwischenraum war etwa zur Hälfte mit Eisenfeilspänen ausgefüllt. Der Wagen besass in der Mitte einen Elektromagneten, welcher die Eisenfeilspäne anzog. Diese wiederum bildeten, solange als der Magnet darüber stand, eine leitende Verbindung zwischen Boden und Deckel und gaben so den Wagenschleifbürsten am Deckel den Betriebsstrom. Ausserhalb des Wagenbereiches war keine Verbindung vorhanden. Der Magnet hatte indessen nach sehr kurzem Betriebe die Feilspäne zu Haufen zusammengetragen, sodass diese permanenten Stromübergang schufen. Der Kanal musste daher in seiner Längsrichtung

in Abteilungen zerlegt werden, indem in geeigneten Entfernungen isolierte Zwischenwände vom Boden bis zum Deckel eingefügt wurden. (Fig. 213.) Nachdem diese Schwierigkeit auf recht einfache Art beseitigt war, stellte sich ein anderes, bis jetzt unüberwundenes Hindernis in den Weg. Die Eisenspäne rosteten in dem nicht hermetisch verschliessbar herzustellenden Kanal und wurden so zu Isolatoren anstatt zu Leitern. Falls man die Eisenspäne vernickeln, versilbern oder vergolden würde, wäre ein Erfolg zu erwarten.

Die Firma Siemens & Halske hat sich eine Ausführungsart patentieren lassen, welche in der unterirdischen Anwendung polarisierter oder Elektromagnete beruht und schematisch in Fig. 214 dargestellt wird.

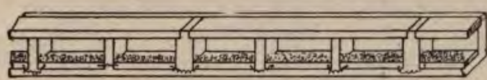


Fig. 213.

Der Wagenmagnet M[1] in Fig. 214 bethätigt, wenn er über den im Kanal befindlichen Magneten hinwegfährt, denselben so, dass er als Stromleiter zwischen Kabel K und der Teilleiterkontaktschiene S[1], S[2], S[3] (so genannt, weil nur immer der unter dem Wagen befindliche Teil der Kontaktschiene mit Strom versehen wird) dient, während der Magnet M[2] denselben in die stromlose Lage zurückversetzt, wenn die Fahrtrichtung des Wagens in Richtung des Pfeiles erfolgt. Die Polarität der Wagenmagnete wird bei wechselnder Fahrt-

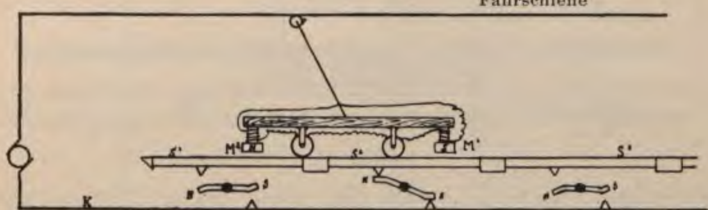


Fig. 214.

richtung des Wagens ebenfalls entsprechend gewechselt. Mit einem einzigen, in seiner Polarität stets gleichbleibenden Wagenmagneten erreicht man denselben Zweck, wenn man den Kanalmagneten so lange gesperrt hält, bis die Stromabnahme von der nächsten Teilleiterschiene erfolgt, wodurch die Sperrung elektromagnetisch ausgelöst wird und eine den Kontakt unterbrechende Feder zur Wirkung kommt. Fig. 215 veranschaulicht das Prinzip.

Die verschiedenen Ausführungen dieser Grundideen sind interessant zu verfolgen und möge auf die diesbezüglichen Patentschriften verwiesen werden.

Eine von obigem abweichende Form sei hier in Fig. 216 und 217 erwähnt.

In einem ebenfalls geschlossenen Kanal ist die Speiseleitung als blanke Laufschiene für einen Stromschlusswagen eingerichtet. Der Wagen, welcher auf ein- oder zweischieniger Bahn läuft, wird als

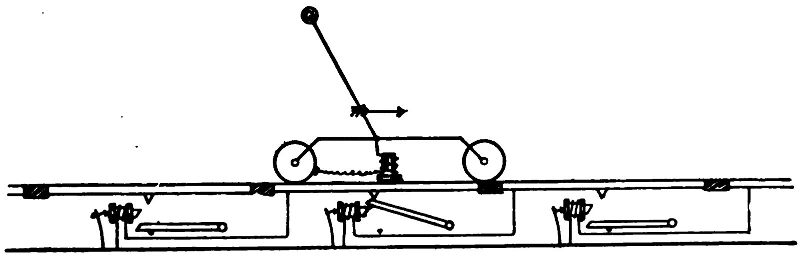


Fig. 215.

fahrbarer Elektromagnet ausgebildet, der mit Haupt- oder Nebenstrom gespeist wird und seinen magnetischen Schluss durch einen geeigneten, am Untergestell des Wagens befindlichen gleichen Elektro-

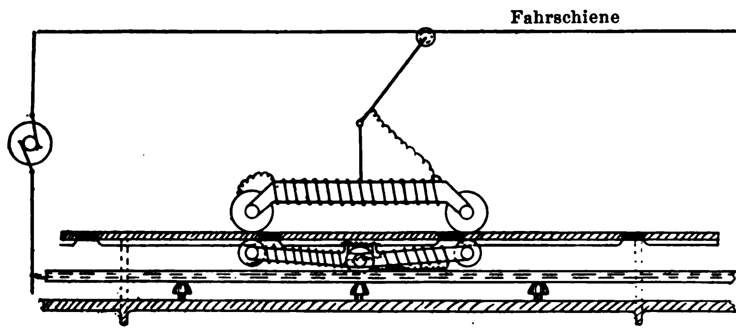


Fig. 216.

magnet erhält. (Fig. 217.) Da die, diese beiden Elektromagneten trennenden Kanalabdeckungsplatten unmagnetisch aber stromleitend sind, so gehorcht der im Kanal befindliche Elektromagnet dem

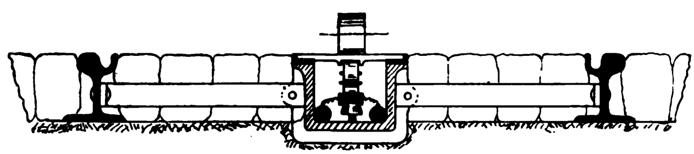


Fig. 217.

Wagenmagnet und wird bei der Fahrt mitgenommen und beim Stillsetzen des Wagens ebenfalls angehalten. Bleiben beide Magnete durch einen Nebenschluss des Betriebsstromes erregt, so kann ein

Versagen des Stromschlusswagens nicht erfolgen. Nur wenn durch einen Streckenkurzschluss die Kontaktschiene stromlos wird und der

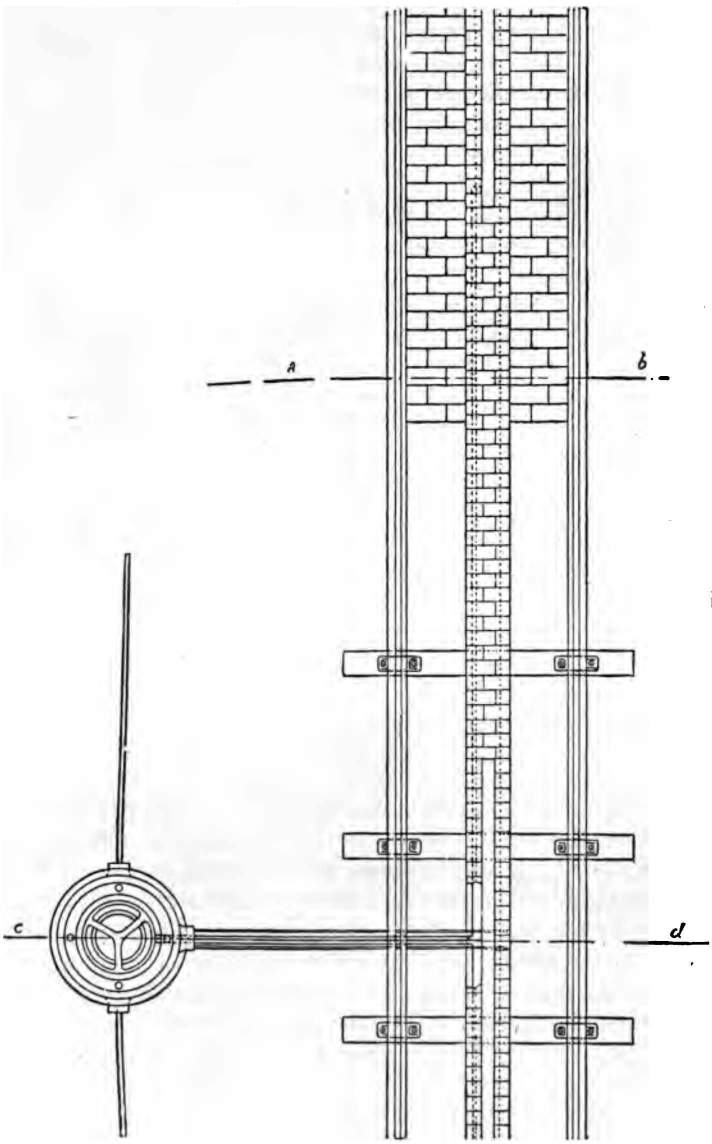


Fig. 218.

Wagen auf der Steigung oder im Gefälle fährt, wird der Kanalwagen abwärts rollen und ein weiteres Stromgeben für den betreffenden

Motorwagen unmöglich machen. Hiergegen hat man eine mechanische Klinkensperrung in Vorschlag gebracht.

Eine praktische Bewährung aller dieser Teilleiterkonstruktionen (so genannt, weil der stromabgebende Leiter durch Isolationsstücke die Kontinuität der Stromabgabe in kurze Teile zerlegt) ist bis zum heutigen Tage noch nicht zu verzeichnen und dürfte der Grund hierfür darin zu suchen sein, dass es noch nicht gelungen ist, die eingangs erwähnte Schwierigkeit so zu bezwingen, dass ein dauernd sicherer Betrieb gewährleistet wird.

Den grössten Anspruch auf Beachtung verdient die Teilleiterstromzuführung mit geschlossenem Leiterkanal von Claret & Vuilleumer, welche sich auf einer 3,2 *km* langen Ausstellungsbahn zu Lyon im Jahre 1894 bewährt hat und welche auf der 7 *km* langen Bahn von Paris nach Romainville in Betrieb gekommen ist.

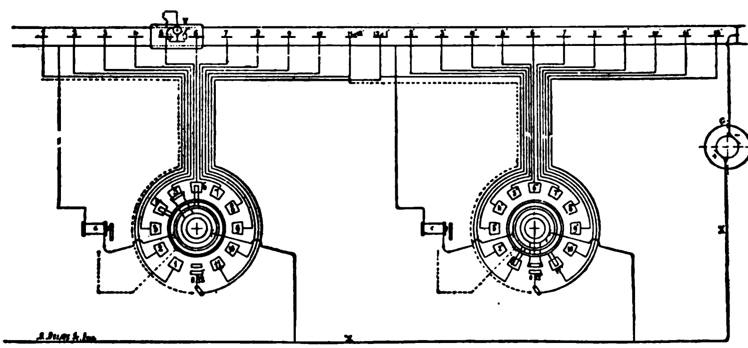


Fig. 219.

Die in der Mitte des Gleises liegenden unterteilten Kontaktschienen von 4 *m* Länge werden durch ebenfalls 4 *m* lange Zwischenräume in der Längsrichtung voneinander getrennt und durch einen besonderen Umschalter in dem Augenblick ein- und ausgeschaltet, in welchem die Kontaktrollen des Wagens die Teilschiene berühren oder verlassen. Fig. 218 zeigt die allgemeine Anordnung.

Durch die Länge der Teilschienen und der Zwischenräume ist die Wagenlänge gegeben. Es müssen stets zwei Teilschienen und ein Zwischenraum von dem Wagen überdeckt werden. Die zwei Kontakträdchen oder -Schlitten müssen unterm Wagen so angebracht sein, dass ihr Abstand grösser ist als der isolierte Zwischenraum der Teilschienen. Jeder Umschalter bethätigt eine grössere Anzahl Kontaktschienen und reicht für eine Strecke von ca. 100 *m* aus. In Fig. 219 ist eine schematische Darstellung des Systems gegeben.

[1]) Die isolierte Hauptleitung XX ist durch Abzweigungen mit dem Verteiler verbunden. Dieser besteht aus einem umlaufenden Kontaktarm und zwölf im Kreise angeordneten Kontaktstücken, von denen jedes mit einer Kontaktschiene verbunden ist. Entsprechend der Vorwärtsbewegung des Wagens wird nun dasjenige Kontaktstück mit der isolierten Leitung verbunden, dessen Kontaktschiene unter dem Wagen liegt und Strom an diesen abgeben soll.

Die elf ersten Kontakte des Verteilers sind durch Kabel mit den Kontaktschienen 1—11 verbunden. Der zwölfte Kontakt ist doppelt und besteht aus einem Segment, das mit Schiene 12 in Verbindung ist und einem zweiten (vom ersteren nach innen zu liegenden) isolierten Segment.

Schiene 12 des einen Blocks bildet gleichzeitig Schiene 1′ des nächsten Blocks, ist also auch mit Kontaktstück 1′ des zweiten Verteilers verbunden.

Im Innern des Verteilers befindet sich eine umlaufende Scheibe mit mehreren Kontaktringen, auf denen Kontaktbürsten schleifen. In dieser Weise ist zunächst das Zuleitungskabel X mit dem Ringe verbunden, welcher dem Centrum am nächsten liegt. Der weiter folgende Ring steht durch seine Bürste mit dem Elektromagneten c in Verbindung. Der äussere Ring dient für eine Hilfsvorrichtung.

Der mit der Leitung X verbundene Ring ist mit einem umlaufenden Kontaktarm verbunden, welcher über die zwölf Kontaktstücke läuft und also den Strom aus X zu der jeweilig eingeschalteten Kontaktschiene führt. Die Breite des Armes ist grösser als der Zwischenraum zwischen zwei aufeinander folgenden Kontaktstücken, sodass also die Ausschaltung einer vorhergehenden Schiene erst stattfindet, wenn die nachfolgende bereits mit X verbunden ist. Die Länge des Armes reicht nur so weit, dass derselbe beim Kontakt 12 nur das innere Segment deckt, wie dies bei dem auf Fig. 219 rechts stehenden Verteiler zu erkennen ist.

Der mit dem mittleren Kontaktringe verbundene Arm, der auf dem links stehenden Verteiler auf Kontakt 6 steht, ist gegen ersteren Arm um 30° im Sinne der Uhrzeigerbewegung verstellt; derselbe hat eine Länge, dass er bei Kontakt 12 bis zum äusseren Segment reicht, doch ist seine Breite erheblich kleiner als der Zwischenraum zwischen zwei Kontaktstücken, sodass er keinen Schluss zwischen beiden bewirken kann. Sein Zweck ist, dem Elektromagneten c einen Stromstoss zuzuführen.

Durch diesen Verteiler wird nun bewirkt, dass in dem Augenblicke, in welchem der hintere Schleifkontakt am Wagen die eine

[1]) Auszug aus einem Bericht der Deutschen Zeitschrift für Elektrotechnik 1895, Heft 4.

Kontaktschiene verlässt und der erstere auf eine nachfolgende Schiene übertritt, die erstere aus-, die zweite eingeschaltet wird. Der hintere Wagenschleifkontakt f ruht auf Schiene 5, der vordere liegt noch zwischen den Schienen, ist also isoliert. Der Strom geht von X aus über den Verteiler, dessen breiter Kontaktarm auf dem Kontakt 5 ruht, nach dem Schleifkontakt f und weiter zum Motor, durch den er auf die rückleitenden Fahrschienen gelangt. Schiene 6 ist noch isoliert und demgemäss geht auch kein Strom über den schmalen Kontaktarm nach dem Elektromagneten c. Sobald nun aber der vordere Schleifkontakt f', der mit den hinteren in leitender Verbindung ist, auf Schiene 6 tritt, geht von der Schiene 5 aus ein Zweigstrom über f' und Schiene 6 nach dem Kontaktstück 6 und weiter über den schmalen Kontaktarm nach dem Elektromagneten c, von welchem er auf die rückleitenden Fahrschienen übertritt. Der Elektromagnet wird erregt, zieht seinen Anker an und durch diese Bewegung wird die drehbare Platte mit den Kontaktringen und -Armen um 30^0 weiter gedreht, sodass also der breite Kontaktarm auf Kontaktstück 6 gelangt, also dieses und Schiene 6 mit X in Verbindung setzt. Der schmale Kontaktarm ruht jetzt auf Kontaktstück 7 und es ist somit die Stromzuführung nach dem Elektromagneten c einstweilen aufgehoben, bis der vorwärts fahrende Wagen den vorderen Schleifkontakt auf Schiene 7 gebracht hat, worauf sich das geschilderte Spiel wiederholt.

Die drehbare Scheibe mit den drei Kontaktringen sitzt auf einer Achse, welche durch eine Feder durch Gewichtsantrieb oder durch einen kleinen Motor gedreht werden kann. In dieser Bewegung wird sie durch eine Sperrklinke, welche in ein zwölfzähniges, an der Achse befestigtes Zahnrad eingreift, gehindert. Sobald nun der Elektromagnet c erregt wird, hebt er durch die Anziehung seines Ankers die Sperrklinke aus und die Achse dreht sich. Da aber die Sperrklinke früher losgelassen wird, bevor die Achse $^1/_{12}$ Umdrehung zurückgelegt hat, so fängt die Klinke das Sperrrad am nächsten Zahn. Demgemäss wird also jede Erregung von c die Vorwärtsbewegung des breiten Kontaktarmes von einem Kontaktstück zum nächsten zur Folge haben und demgemäss auch das ganze mit der Achse verbundene System sich um diesen Winkelbetrag bewegen.

Die geschilderte Folgeschaltung wird sich nun bei jeder Weiterbewegung des Wagens wiederholen, bis Kontaktschiene 11 erreicht worden ist. Sobald aber nun in diesem Falle Schiene 11 vom Wagen überfahren ist und der vordere Schleifkontakt f' die Kontaktschiene 12, welche mit 1' (d. h. Nr. 1 der folgenden Gruppe) identisch ist, erreicht hat, geht von f' aus ein Strom sowohl über den Elektromagneten des links-, wie über denjenigen des rechtsstehenden Ver-

teilers, dessen breiter Arm bisher auf 12 stand. In diesem Augenblicke arbeiten also beide Verteiler gleichzeitig. Im linksstehenden Verteiler rückt der breite Arm auf Nr. 12 und wird also isoliert; im rechtsstehenden Apparate dagegen wird der breite Arm auf 1 gestellt und dadurch gelangt also Schiene 12—1′ durch den rechtsstehenden Verteiler mit X in Verbindung. Es übernimmt demnach nunmehr der rechtsstehende Verteiler die Einschaltung der weiteren Schienen, bis die ihm zugehörige Gruppe überfahren ist und dann in der geschilderten Weise der nachfolgende Verteiler in Thätigkeit kommt.

In dieser hier geschilderten einfacheren Form lässt der Verteiler nur eine Fahrrichtung zu, nach unserem Schema (Fig. 219) von links nach rechts. Damit man nun in beiden Richtungen fahren kann, was nicht nur auf eingleisigen Strecken erforderlich, sondern auch für gelegentliche, aber sichere Fälle bei zweigleisigen Strecken notwendig ist, haben die Erfinder ihren Verteiler für zweiläufige Bewegungen eingerichtet. Zu diesem Zwecke ist der dritte, der äussere Kontaktring angebracht, mit welchem, ähnlich wie beim inneren Ringe, ein schmaler Kontaktarm verbunden ist; dieser letztere ist jedoch nach rückwärts (im Sinne der Uhrzeigerbewegung) um 30^0 gegen den breiten Kontaktarm verschoben. Ebenso ist ein zweites Sperrrad für linksgängige Bewegung mit einer zweiten Sperrklinke und einem zweiten Elektromagneten eingerichtet.

Ist nun wie in Fig. 219 Schiene 5 mit X verbunden und kommt bei der Weiterbewegung nach rechts hin f′ mit 6 in Berührung, so wird, wie leicht zu sehen, der Teilstrom über den auf Kontaktstück 6 ruhenden Arm geleitet; es wird also der rechts umtreibende Elektromagnet bethätigt. Fährt aber der Wagen in der entgegengesetzten Richtung, so übernimmt f′ die Stromzuführung zum Motor und f diejenige zum treibenden Elektromagneten. Dieser letztere wird aber der zweite, der linksumtreibende sein. Denn kommt f jetzt auf die Kontaktschiene 4, so geht ein Teilstrom über den mit dem äusseren Ringe verbundenen schmalen Arm, der, wie gesagt, mit dem zweiten Elektromagneten verbunden ist.

Für die Kontaktschienen ist in der Mitte des Gleises ein schmaler Weg aus Holzpflaster hergestellt, welches auf eine isolierende Asphaltschicht gesetzt ist. (Fig. 218, 220 und 221.) Der auf diese Weise entstandene Körper hat an beiden Seiten Nuten erhalten, in denen die vom Verteiler zu den einzelnen Schienen führenden Zuleitungen liegen.

In den Körper sind die Kontaktschienen eingelassen, die aus verkehrt eingesetzten Abschnitten von Vignolschienen bestehen. Die von oben eingeschnittene Nute für diese Schienen wird nach dem

Einsetzen des Schienenstückes mit Asphalt vergossen und man erhält dadurch zwar keine grosse, aber für 500 Volt Betriebsspannung und auch bei schlechtem Wetter genügende Isolation.

Die Verteiler sind, wie die Abbildungen erkennen lassen, seitwärts des Schienenweges gestellt und in den Boden eingelassen, können jedoch auch auf besonderen Ständern wie Feuermelder oder an Häusern wie Briefkästen in erreichbarer Höhe angebracht sein, wodurch die Verteiler durch Schnee, Eis und Feuchtigkeit nicht leiden können.

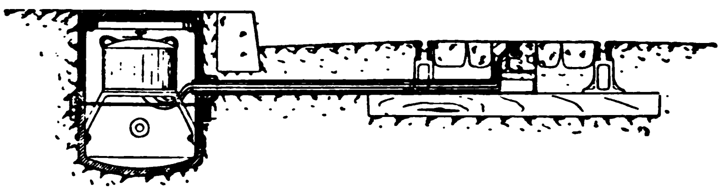


Fig. 220.

Ein Hindernis zur Einführung dieses Systems liegt weniger in den Kosten der Kabelleitungen und Apparate, sondern in der guten Isolierung und soliden Befestigung der Teilleiter-Stromzuführungsschienen. Gerade dieser Umstand ist das Haupthindernis, dass die so begehrenswerten Teilleiterkonstruktionen noch nicht festen Fuss in der Praxis fassen konnten.

Es wird natürlich nicht möglich sein, durch dieses System das denkbar einfachste und billigste System der oberirdischen Hochleitung zu verdrängen, wenigstens nicht an den Stellen, die ohne

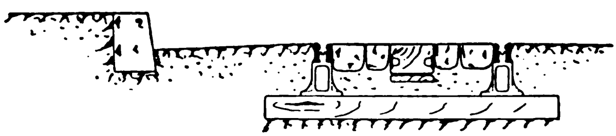


Fig. 221.

weiteres für Hochleitung geeignet sind; aber da es sich heutzutage oft darum handelt, den Vorortverkehr in das Innere der Grossstadt überzuleiten und hierbei ein kombiniertes System anzuwenden zum mindesten gewünscht wird, so ist besagtes System ebenso berufen, sein Anrecht auf zweckentsprechende Verwendung geltend zu machen, wie Akkumulatorenbetrieb und Schlitzkanalbetrieb.

Für das sichere Funktionieren der Streckenschaltapparate ist der Fall zu berücksichtigen, dass der Wagen seinen Betriebsstrom ausschaltet und vermöge seiner lebendigen Kraft über die nächstfolgenden Teilschienen hinwegfährt. Es ist alsdann der Apparat still gesetzt

und kann derselbe nicht mehr anspringen, wenn der Wagenführer einschaltet. Es ist zu vermuten, dass bei besagter Probebahn in Lyon für diese Fälle ein Nebenschluss zum Motor vorgesehen war, oder dass mit geringem Betriebsstrom bis zum Stillstand des Wagens gearbeitet wurde. Bei Anwendung von Nebenschlussmotoren im Wagen ist die eben begründete Forderung von selbst erfüllt.

Eine Vereinfachung des Schaltapparates liegt im Fortfall der mechanischen Kraftaufspeicherung durch Feder oder Gewichte. Bildet man ein feststehendes, kranzförmig und radial angeordnetes Magnetsystem, dessen einzelne Magnete nur immer durch die entsprechende Teilleiterschiene erregt werden, und lässt man in diesem Magnetsystem einen ebenfalls radial angeordneten Magneten, der ständig von dem Betriebsstrom erregt ist, als Radius um den Mittelpunkt kreisen, so ist derselbe Zweck durch einen gewissermassen einfachen Drehstrommotor erreicht und die besondere regelmässige Wartung des Apparates fällt damit fort.

Der Einbau der Mittelschiene in die verschiedensten in Betracht kommenden Pflasterarten, wie Asphalt, Granit, Chaussee u. s. f., wird stets andere Konstruktionen bedingen. Die solideste Anordnung wird die vollständige Einbettung in Asphalt sein, da alle anderen Pflastermaterialien wenig isolierende sind. Wenngleich auch der Übergangswiderstand zwischen Mittelschiene und Laufschiene bei guter Isolierung und wasserfreier Strassenfläche nur unbedeutend sein kann, so müssen doch alle zu Gebote stehenden Mittel vollkommenste Anwendung finden.

Über die eingehende Konstruktion des Schaltapparates und Wagenkontaktes giebt »The Electrical Engineer« vom 17. Oktober 1894, S. 313, und »The Electrician« vom 28. September« 1894, S. 630 und 631, näheren Aufschluss.

Einige weitere, durch die Litteratur bekannt gewordenen Konstruktionen mögen am Schluss hier noch Platz finden.

Das Johnson Lundell-System ist beschrieben in »Die Elektrizität« 1896, Heft 17, S. 98 und 99, und beruht darauf, dass eine im Wagen befindliche kleine Akkumulatorenbatterie Strom für Erregung von im Strassenpflaster liegenden Einschalter-Elektromagneten hergiebt. Die Enden dieser Magnetbewickelung sind zu zwei parallel geführten, zwischen den Gleisen liegenden Teilleiterschienen geführt und erhalten durch Doppelbürsten ihren Erregerstrom, der sowohl Akkumulatoren- als auch direkter Betriebsstrom sein kann. Die Akkumulatoren werden stets parallel zum Motor geschaltet, während der Fahrt geladen und bilden Reserve für Versagen der Apparate im Pflaster. D. R. P. 82 406 zeigt einen Umschalterkasten einfacher Bedienungsart.

System Diatto, beschrieben in der E T Z 1895, Heft 43, S. 680, sieht im Pflaster zwischen den Gleisen einzelne eiserne Kontaktknöpfe vor, die durch einen darübergeführten Wagenmagneten Magnetismns übergeleitet erhalten. Dadurch wird ein im Quecksilber schwimmender Eisenstöpsel kontaktbildend nach oben gezogen und giebt dem Kontaktknopf Strom.

Die Verwendung von Quecksilber im Strassenpflaster und die Annahme, dass Holz im Strassenpflaster isolierend wirkt, sind als Fehlgriffe zu bezeichnen. Das System ist auf einer 200 *m* langen Probestrecke in Thätigkeit gewesen.

System Cirla, beschrieben in der E T Z 1897, Heft 2, S. 22 und 23, ist charakterisiert durch einen längs des Wagens hängenden zweipoligen Hufeisenmagneten, der über den mit den freien Polen nach oben gekehrten und im Pflaster liegenden Hufeisen schwebt. Das Joch dieses Hufeisens ist in der Mitte unterbrochen und zieht an dieser Stelle eine kontaktbildende eiserne Scheibe innerhalb eines dicht verschlossenen Kontaktapparates an. Ob dieses System in Betrieb gekommen, ist nicht angegeben.

Mit den beiden letztgenannten Systemen hat das Kleinschmidt'sche grosse Ähnlichkeit, zeichnet sich jedoch durch grössere Einfachheit des Kontaktapparates aus.

Das Westinghouse-System, E T Z 1895, Heft 46, S. 725, die Essberger'sche Konstruktion, D.R.P. 80670, sowie die Benack'sche (von Schuckert & Co. in München probeweise ausgeführt), näher beschrieben von Dr. Gustav Rasch in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1897, Heft 6, S. 164 und 165, gründen sich auf die Bethätigung von Elektromagneten im Strassenpflaster, welche von dem stromführenden Wagen mehr oder weniger stark erregt werden.

19. Die Akkumulatorenbahnen.

Die transportablen Akkumulatoren für motorische Zwecke sind, solange es elektrische Bahnen giebt, noch nicht von der Reihe der brennenden Tagesfragen gewichen.

Ehe man unsere heutigen Akkumulatoren kannte, versuchte man mit Batterien Fahrzeuge anzutreiben. Da derartige Versuche bereits in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts unternommen wurden, kann man sich die früheren Misserfolge vorstellen.

Als im Jahre 1881 Emil Alfons Faure seine Patente auf Akkumulatoren nahm, glaubte man, dass das Verfahren der aufgesammelten elektrischen Energie dazu berufen sein werde, den Strassenbahnbetrieb zu beherrschen. Leider aber erwiesen sich diese Erwartungen als verfrüht, denn abgesehen davon, dass die zu den

betreffenden Versuchen verwendeten elektrischen Motoren einen grossen Anteil an dem Misslingen dieser Vorversuche trugen, machten doch vor allen Dingen die zu den Versuchen benutzten Akkumulatoren, welche sich in der Praxis nicht lebensfähig erwiesen, den Betrieb zu einem verfehlten und unwirtschaftlichen.

Die von Bleiplatten alter Konstruktion gebildeten Akkumulatoren hatten sich nur annähernd gut auf solchen Strecken bewährt, welche keine zu starken Steigungen aufwiesen, und bei denen die Anforderungen an Geschwindigkeit keine hohen waren.

Erst Ende der achtziger Jahre nahmen dann die Experimente mit dem Fortschritt der Akkumulatorentechnik wirklich praktische Form an, sodass wir bis zu Anfang dieses Jahrzehntes bereits eine Reihe von Akkumulatorenbahnen in Betrieb fanden, so in Scheveningen, Birmingham , Brüssel, Paris, Berlin (Plewe), Hamburg (Huber 1888).

Die grossen Erschütterungen, denen der Wagen selbst auf den Schienen ausgesetzt ist, veranlassten, dass die sogenannte aktive Masse, mit welcher die Platten bestrichen wurden, abbröckelte. Ausserdem gestattete die Plattenkonstruktion nicht, mit spezifisch hohen Stromstärken zu laden und zu entladen, wie dies heutzutage geschieht, wodurch der Betrieb schwerfällig war und Nachtladungen erforderlich machte.

Die erhofften Vorzüge des reinen Akkumulatorenbetriebes, als da sind: Wagen ohne irgend welche Zuleitung, Unabhängigkeit der Wagen voneinander und von der Station, gleichmässige Ausnutzung der stationären Kessel, Dampfmaschinen und Dynamos beim Laden der Zellen, Wiedergewinnung der Arbeit beim bergabfahrenden Wagen in Form von elektrischer Energie, die der Wagenmotor, als Stromerzeuger wirkend, hergiebt und die alsdann zum Wiederladen der Zellen benutzt wird, Anwendung geringerer Spannungen u. dergl., wurden durch die Beschaffenheit der ersten Bleiakkumulatoren sehr fragwürdiger Natur. Die notwendige Anwendung einer Lösungsflüssigkeit, welche umherspritzen und Beschädigungen an Motoren, Wagen und Insassen herbeiführen kann, ist auch heute noch nicht als Annehmlichkeit des Akkumulators zu bezeichnen. Gegen das Umherspritzen des Elektrolytes hat man eine gelatineartige Säure angewandt, ist aber hiervon wieder abgegangen, weil sich andere Unbequemlichkeiten herausgebildet haben, und lässt nunmehr den Zellenrand über das Säure-Niveau gehen.

Der Kupfer-Zinkakkumulator nach dem System Waddel-Entz machte seiner Zeit viel von sich reden, da er sich in einjährigem Betriebe in Amerika bewährt haben sollte. In Hagen in Westfalen und Wien sind im Jahre 1895 Versuche im ständigen Betriebe mit

diesen Akkumulatoren vorgenommen worden, deren Resultat aber ein vollständig negatives war.

Da die Möglichkeit nicht ausgeschlossen ist, dass sich auf ähnlichem Wege in Zukunft Erfindergedanken herumtreiben, sei kurz auf die Konstruktion und Wirksamkeit dieser seiner Zeit vielverheissenden Stromsammler hingewiesen.

Dieser Akkumulator sollte mit einer beliebig hohen Entladestromstärke, ohne irgend welche Einbusse an Kapazität, entladen werden können und dann bei einem minimalen inneren Widerstande einen geringen Spannungsabfall innerhalb solcher Grenzen der Beanspruchung besitzen, wie sie beim Bahnbetrieb vorkommen. Die Gewichte vom Blei- zum Kupfer-Zink-Akkumulator verhielten sich wie 1 : 0,55 bei gleicher nutzbarer Leistung. Die Zelle bestand aus einem Stahlblechgefäss, in welchem sechs positive und sieben negative Elektroden angeordnet waren. Die positiven Elektroden bestanden aus Kupferdrahtspiralen, auf welchen durch eine besondere Fabrikationsmethode Kupferoxyd in einem Kupferdrahtgespinst eingebracht war. Jede Platte war mit einer Baumwollumhüllung umgeben. Die negativen Elektroden bestanden aus Stahlblech, das Elektrolyt war Zink-Alkali-Lauge. Der Vorgang der Ladung und Entladung bestand darin, dass bei Ladung das Kupfer der positiven Elektroden oxydiert und Zink aus der Lösung auf die negativen Elektroden niedergeschlagen wurde. Bei Entladung trat eine Reduktion des Kupfers der positiven Platten ein, während das Zink auf der negativen Seite wieder in die Lösung ging. Der Zinkniederschlag ist bekanntlich proportional der Summe der bei der Ladung aufgewandten Ampèrestunden. Die Entladung lieferte annähernd die volle Summe der als Ladung aufgewandten Ampèrestunden zurück. Der Energieverlust in der Aufspeicherung wird durch die höhere Ladespannung und den Umstand bedingt, dass in gewissen Zeiträumen eine Gegenladung der Zellen erfolgen musste. Die Ladung der Zelle beginnt mit einer Spannung von 0,9 Volt und ist mit 1 Volt als beendigt zu betrachten. Die Tische, auf welchen die zu ladenden Zellen standen, mussten mittels Dampfrohrschlangen oder dergleichen angeheizt werden, da eine Erwärmung des Elektrolytes während der Ladung vom Boden der Gefässe aus bis zu einer Temperatur von 50° C. zum Zweck der Cirkulation der Erregerflüssigkeit erforderlich erachtet wurde.

Die in der Akkumulatoren-Entwickelungszeit erfolgten Verirrungen liessen den Akkumulator für Bahnzwecke bald als ein verunglücktes Experiment erscheinen. Die Schwächen lagen meist innerlich; so war das Biegen der Platten, der Kurzschluss, die Sulfatbildung, das Verwittern und Ausbröckeln des Superoxyds Grund dazu, durch Verstärkung der Platten dem Biegen entgegenzuarbeiten, durch Um-

hüllen das Ausfallen des Superoxyds zu hindern u. s. w. Durch solche mechanische Kunstgriffe arbeitete man aber dem chemischen Vorgange entgegen und konnte kein befriedigendes Resultat erhalten. Die Hauptveranlassung zu diesen Störungen sind die zu schnellen Entladungen und die zu grosse Stromstärke. Die Kapazität, welche bei Strassenbahnwagen über zwei Stunden Entladungszeit hinaus noch vorhanden ist, ist wertlos und müssen die Platten hierfür konstruiert werden. Das Superoxyd ist nicht wichtiger als die Säure. Wird deren Dichtigkeit zu gering, so nimmt die EMK schnell ab. Während der Entladung muss die dünnere Säure aus den Poren der Platten heraus und dichtere hinein; das kann durch die Differenz der spezifischen Gewichte und durch die Erschütterungen geschehen. Je schneller die Entladung, eine desto dünnere Schicht der Platte nimmt an der Arbeit teil. Durch Vergrösserung der Porosität kann man freilich etwas helfen, aber man thut es auf Kosten der EMK. Für schnelle Entladung sind also die besten Platten dünn, mit grosser Oberfläche und freiem Säurezutritt auszustatten. Die Kapazität für das Kilogramm der dünnen Platten ist grösser als die der besten dicken, porösen Platten. Auch bei schneller Ladung ist die dicke Platte hinderlich für die Rückwärtsbildung der Säure. Es bleibt zu dichte Säure in den Poren haften, Gasbildung tritt ein und dadurch Zerstörung der Platte. Auch die bei der Entladung eintretende Ausdehnung des Superoxyds und seine nachherige Kontraktion gestattet die dünne Platte mit grosser Oberfläche in möglichst vollkommener Weise. Das allmähliche Abfallen des Superoxyds und damit die fortschreitende Zerstörung der Platte hindert die grosse, dünne Platte nicht, aber dafür ist sie auch billiger und kann leichter ersetzt werden.

Zieht man aus den vorstehenden Betrachtungen das Resultat für die Verwendung des Akkumulators zu Strassenbahnzwecken und zieht man zudem in Betracht, dass der Transport der gewichtslosen elektrischen Energie durch Kupferleitungen so vielmal leichter zu bewirken ist als durch schwere Batterien, seien dies nun Kupferzink- oder Bleiakkumulatoren, so möchte man zu der Ansicht hinneigen, dass ein Transport der Energie durch Metallplatten niemals ernstlich in Frage kommen kann, dass vielmehr dem Akkumulatorenbetrieb nur ein ganz spezielles Gebiet zugewiesen werden kann, wo sich z. B. durch einen äusserst spärlichen Betrieb die Anbringung oberirdischer oder der Einbau unterirdischer direkter Zuleitungen nicht rentieren kann.

Dieses Bild änderte sich jedoch im Jahre 1895, als sich die Akkumulatorentechniker erfolgreich bemühten, Batterien für schnelle Aufladung und für hohe Entladestromstärken zu bauen. Hier ist

es der Hannover'schen Strassenbahn zu danken, dass sie energisch vorging, sich ein System zu schaffen, welches ihrem Unternehmen eine wirtschaftliche Seite abgewinnen konnte. Von der Akkumulatoren-Fabrik, Aktiengesellschaft, Hagen i/W., wurden in die von der oberirdischen Fahrleitung betriebenen Strassenbahnwagen Akkumulatorenbatterien von je 2—2,6 *t* Gewicht eingebaut mit der Bestimmung, bei der Fahrt auf den Aussenstrecken von der direkten Stromleitung geladen zu werden, um in der inneren Stadt, die von Fahrleitungen verschont bleiben sollte, sich entladend, den Motor weiter treiben zu können. Die Dresdener Strassenbahn folgte alsbald diesem Beispiel auf einer, durch die Wünsche der Stadtverwaltung hierfür besonders bestimmten Linie, wobei die Batterien nur noch ein Gewicht von rund 2 *t* besassen. Diese Ausführungen waren bestimmend für die Weiterentwickelung der Akkumulatorenbahnen.

Batterien von höherem Gewicht als 2000 *kg* können nicht mehr als zeitgemäss gelten. Geringere Gewichte werden vereinzelt wohl angestrebt und ausgeführt, haben jedoch bis jetzt noch keine längere Bewährung zu verzeichnen. Es ist möglich geworden, bei diesem Normalbatteriegewicht von 2 *t* eine Kapazität von 25 Ampèrestunden bei 500 Volt Betriebsspannung der Batterie zu erreichen, bei einer die Batterie auf die Dauer nicht gefährdenden Anfahrstromstärke von 100 Ampère. Diese Arbeitsanhäufung entspricht einer Wagenleistung von ca. 250 Tonnenkilometern bezw. von 20 Wagenkilometern, wenn der Wagen 12 *t* wiegt.

Es kommt nun, wie bereits erwähnt, hierbei weniger auf die Kapazität, als auf die grösstmöglichste Entladestromstärke, bei der durch das Gesamtbatteriegewicht auszudrückenden Bleiplatten-Oberfläche an. Eine grössere Strombelastung wie 2 Ampère für das Quadratdecimeter positiver Platten-Oberfläche ist nicht üblich, und dürfte auch nur ausnahmsweise zulässig sein. Bewährt haben sich in jahrelangem Betriebe bisher die Fabrikate der vorhin genannten Akkumulatoren-Fabrik in Hagen. Über die in jüngster Zeit aufgetauchten neueren Fabrikate sind zuverlässige Daten noch nicht zu erwarten, jedoch ist das Vorgehen der konkurrierenden Firmen mit ihren anderen Zielen erwähnenswert. Während nämlich die erfahrungsbesitzende Fabrikationsfirma sich scheut, dem 2 *t* Bleigewicht aus Gründen geringerer Haltbarkeit eine noch grössere Oberfläche zu geben, um dadurch die Kapazität für einen längeren Betrieb zu erreichen, haben die Watt-Akkumulatorenwerke in Berlin keine Bedenken darin gefunden. Pollack-Frankfurt a/M. glaubt bei noch geringerem Gewicht genügend grosse Anfahrstromstärken zu erhalten u. dergl. m.

Schliesslich sei noch erwähnt, dass man Akkumulatoren mit Vorteil an Stelle der Vorschaltwiderstände verwendet, um dadurch

die tote Arbeit beim Schalten der Wagenmotoren zu vermeiden. Auch hierfür sind besondere Bedingungen zu erfüllen.

Die bereits bestehenden Thatsachen, sowie die genannten Bestrebungen sind für die Einteilung der Akkumulatorenbahnen massgebend geworden. Man unterscheidet demnach:

a) reinen Akkumulatorenbetrieb: Tagesleistung, Streckenleistung;
b) gemischten Akkumulatorenbetrieb;
c) Anfahr-Akkumulatorenbetrieb;
d) Akkumulatoren-Lokomotiven.

Bei allen Betriebsarten handelt es sich darum, die Batterien zweckmässig im Wagen unterzubringen. Dies kann im Wagenkasten selbst erfolgen, indem die Zellen unter den Sitzbänken Platz finden. In diesem Falle, als dem bei uns häufigsten, wird das Eindringen von Säuredämpfen in das Wageninnere dadurch verhindert, dass nach allen Seiten besonders gute Abdichtungen durch Asphaltanstrich und Gummieinlagen sowie durch gummibelegte Deckel vorgesehen werden und dass der ganze Raum unter den Sitzen mit gut wirkender Ventilation versehen wird. Um die Batterien dem Wagenkasten unterhalb anhängen zu können, müssen die Motoren so untergebracht werden, dass sie den Batteriekasten Raum gewähren. Am einfachsten lässt sich diese Anordnung bei vierachsigen Drehgestellwagen bewirken. Auch kann die Batterie im Untergestell befestigt sein, wie dies in Fig. 222 dargestellt ist, falls man es je nach Umständen nicht

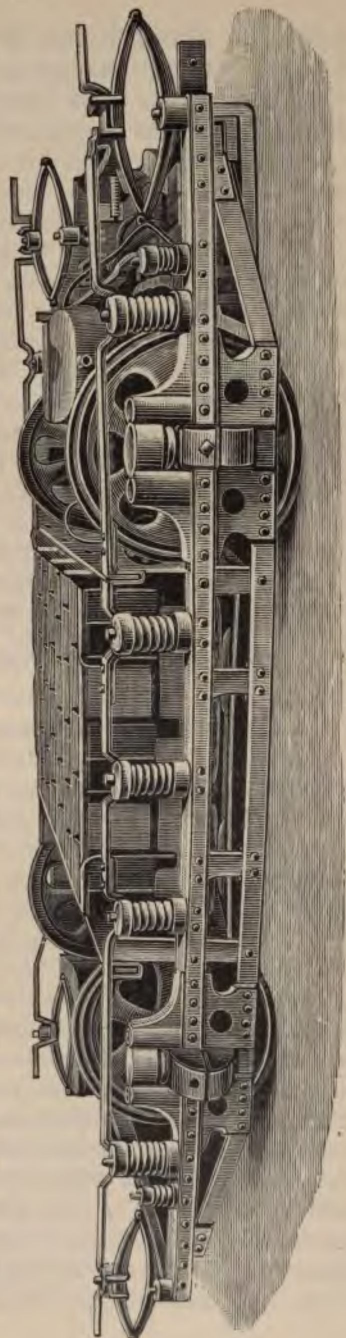


Fig. 222.

vorzieht, die Akkumulatoren in einen besonderen Tenderwagen unterzubringen, der dem Hauptwagen angehängt oder vorgespannt wird.

In allen Fällen muss beim Bau der Wagen, Untergestelle, Räder und Achsen auf das vermehrte Gewicht Rücksicht genommen werden. Auch das Gleis verlangt bei der 25% grösseren Belastung entsprechende Verstärkungen im Schienenquerschnitt, in der Laschenverbindung und im Stopfmaterial.

Da erfahrungsgemäss beim Anfahren des Wagens eine etwa vierfache Stromstärke erforderlich ist, gegenüber der Fahrt auf horizontaler Strecke, so liegt es nahe, um die zulässige Beanspruchung der Platten nicht zu hoch wählen zu müssen, die Zellen für die Anfahrt und für die Fahrt auf Steigungen entsprechend parallel und für die freie Fahrt in der Ebene hintereinander zu schalten.

Zur Unterhaltung der Akkumulatoren gehört das rechtzeitige Überladen der Batterie, was durchschnittlich im Monat einmal zu erfolgen hat. Es muss alsdann die Batterie während 2—3 Stunden so viel Spannung erhalten, bis sämtliche Elemente die höchste Spannung von 2,7 Volt erreicht haben. Dadurch wird ermöglicht, dass diejenigen Zellen, welche durch den Betrieb Veränderungen ihres Widerstandes erlitten haben, ihren normalen Zustand wiedererlangen.

a) Reiner Akkumulatorenbetrieb.

Tagesleistung.

Wenn es sich darum handelt, ohne direkte Stromzuleitung einen Wagen oder eine ganze Bahnstrecke zu betreiben, so liegt zunächst nichts näher, als der Wagenbatterie soviel Kapazität mitzugeben, dass der Wagen während eines Tages nicht wieder nachgeladen zu werden braucht. Es läuft die Erfüllung dieser Aufgabe darauf hinaus, die Batterie schwer zu machen, damit sie auch in den letzten Stunden des Betriebes noch genügend Anfahrstromstärke und Kapazität besitzt. Eine kurze Rechnung giebt Aufschluss über die obwaltenden Verhältnisse.

Ein Wagen kann bei 16stündiger Betriebsdauer und bei 10 Kilometerstunden mittlerer Fahrzeit, wobei neben den Streckenaufenthalten auch die Endaufenthalte einbezogen sind, täglich 160 Wagenkilometer leisten. Das Gewicht eines vierachsigen mit elektromotorischer Einrichtung versehenen Akkumulatorenwagens (nur solche sollte man bei Batterien über 2 *t* Gewicht verwenden) beträgt mindestens 10 *t*. Hierzu das Gewicht von 40 Fahrgästen je 75 *kg* = 3 *t* und das Gewicht der Batterie. Es sind also rund 13 *t* mit einer Batterie von x *t* fortzubewegen. Erfahrungsgemäss sind für 1 Akkumulatorentonnenkilometer 50 Wattstunden zur Fortbewegung bei obiger Geschwindigkeit nötig, mithin muss eine derartige Wagenbatterie

160 (13 + x) · 50 Wattstunden Kapazität besitzen. Wird für x der voraussichtlich kleinste Wert von 4 *t* angenommen, so muss die Batterie 160 × 17 × 50 = 136 Kilowattstunden leisten, was bei 500 Volt Betriebsspannung (um einen guten Vergleich mit den anderen Akkumulatorensystemen zu haben) 272 Ampèrestunden gleichkommt.

Selbst wenn man nun annimmt, dass der Wattverbrauch nicht proportional dem Gewicht zunimmt, so dürfte eine kleinere Batterie als 100 Kilowattstunden = 200 Ampèrestunden nicht in Betracht kommen. Rechnen wir im Höchstfalle und mit runden Zahlen 2 Ampère auf die Lade- und Entladestromstärke für das Quadratdecimeter positive Elektrodenoberfläche, so ergiebt sich eine Fläche von mindestens 100 *qdm* = 1 *qm* für jede der hintereinander zu schaltenden Zellen oder Zellenpaare. Nun ist es durch neuere Fabrikationsmethoden gelungen, eine entsprechende Oberfläche bei verhältnismässig geringem Gewicht herzustellen, und thatsächlich besitzen die Watt-Akkumulatoren auf der Strecke Berlin-Charlottenburg bei 6 *t* Batteriegewicht eine ganze Tagesleistung, jedoch liegen längere Betriebsresultate dieser spezifisch sehr hohen Beanspruchung noch nicht vor.

Während andere Fabrikate für eine Leistung von 1 Kilowattstunde mindestens ein Gewicht von 150 *kg* rechnen, sieht die genannte Gesellschaft $^1/_3$ dieses Gewichtes vor. Es bedeutet sicher einen grossen Fortschritt in der Akkumulatorentechnik, wenn dieselbe auf die Dauer mit diesen Zahlen wird rechnen können. Da es aber bekannt ist, dass der Akkumulator eine um so geringere Kapazität zeigt, je stärker der Strom ist, mit welchen man ihn entladet, dürfte bei der angenommenen spezifischen Beanspruchung zunächst ein Zweifel gerechtfertigt sein.

Die Schaltung bei diesem System sowie bei den nächstfolgenden bietet nichts besonderes. Während der Ladung ist die Wagenbatterie in den Ladungsstromkreis eingeschaltet, bei der Entladung wird die Dynamomaschine durch den Wagenelektromotor ersetzt. Die durchschnittliche Ladespannung beträgt auch hier wieder 2,4 Volt (vergl. Abschnitt 10, S. 39) und die durchschnittliche Entladespannung 1,9 Volt. Man muss es im praktischen Betriebe vermeiden, mit Zellenschaltern oder Vorschaltwiderständen zu laden, da niemals alle Wagen zu gleicher Zeit mit der Ladung beginnen können. Für jeden Wagen jedoch diese bei stationärem Lichtbetrieb notwendigen Apparate vorzusehen, ist der erforderlichen Aufsicht wegen nicht durchführbar.

Als Nachteil dieses Systems ist der Umstand zu betrachten, dass die Kraftstation nur während weniger Nachtstunden ausgenutzt werden kann und dass die Batterien zu schwer werden müssen. Als Vorzug darf der gänzliche Fortfall von Kabelleitung gelten.



Fig. 223.

Das Anwendungsgebiet dieses Systems wird sich infolge des nachstehend beschriebenen Systems da wirtschaftlich finden lassen, wo der Wagen eine lange Strecke täglich nur ein Mal befahren



Fig. 224.

kann, oder wo der Wagen nur ein Mal täglich, d. h. nach Betriebsschluss, in die Nähe der Kraftstation kommt.

Streckenleistung.

Um die vorstehenden Nachteile zu umgehen, hat man an das

eine Ende der von den Akkumulatorenwagen zu befahrenden Strecken Kabelleitungen geführt, welche in sogenannte Ladeständer ausmünden. Dies sind architektonisch verzierte, ca. 1,5 *m* hohe Säulen, welche die erforderlichen Schalter (Hebelschalter und Automat), Strommesser, Sicherung, Ladungsanzeiger u. s. w. enthalten. Dem Wagen, der in unmittelbarer Nähe dieses Ständers hält, wird durch ein biegsames Leitungsseil der Ladestrom in äusserst kurzer Zeit zugeführt. Seit einigen Monaten findet in Paris auf drei, je ca. 6,5 *km* langen Linien derartiger Betrieb statt. Die 200 zelligen Batterien, von der Akkumulatorenfabrik Hagen i/W. geliefert, wiegen je 3600 *kg* und werden trotz dieser Grösse nach jeder Rundfahrt (Hin- und Rückfahrt) in 10 Minuten mit einem Ladestrom von 120 Ampère bei ca. 450 Volt geladen.

Fig. 223 stellt diese Bahn an einer Ladestelle dar. Jeder der 22 Betriebswagen fasst 52 Plätze und wiegt besetzt ohne Batterie 14 *t*, zusammen also 17,6 *t*. Jede Achse wird durch einen vierpoligen 25 P S-Motor angetrieben.

Der Energieverbrauch soll 860 Wattstunden für das Wagenkilometer sein, wobei ein Wirkungsgrad der Akkumulatoren von 71 % erreicht wird.

Zu fast gleicher Zeit ist in Frankfurt a/M. von Pollack eine Bahn dieses Systems vorläufig als Versuchsstrecke zwischen Hauptbahnhof und Galluswarte, 1541 *m* lang, eingerichtet worden. (Fig. 224.)

Die elektrische Einrichtung der 34 Plätze fassenden Wagen besteht aus der Akkumulatorenbatterie, einem Elektromotor, zwei Anlassern und den nötigen Verbindungsleitungen. Die Akkumulatoren befinden sich wie gewöhnlich unter den Sitzen und sind in Hartgummizellen in einer solchen Weise eingebaut, dass sie alle bei normalem Betrieb vorkommenden Erschütterungen und Stösse ohne Schaden aushalten können und dass selbst bei den grössten Schwankungen des Wagens ein Herausspritzen der Säure nicht möglich ist.

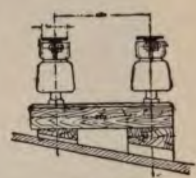
Auf dem Wagendach befinden sich zwei isoliert angebrachte Kupferschienen, welche mit den beiden Polen der Batterie in Verbindung stehen. (Fig. 225 u. 226.)

An Stelle des vorher beschriebenen Ladeständers ist hier am Streckenendpunkt ein Auslegermast mit zwei, den Dachschienen entsprechenden Dynamomaschinenpol - Pendeln aufgestellt, wie aus Fig. 227 ersichtlich ist.

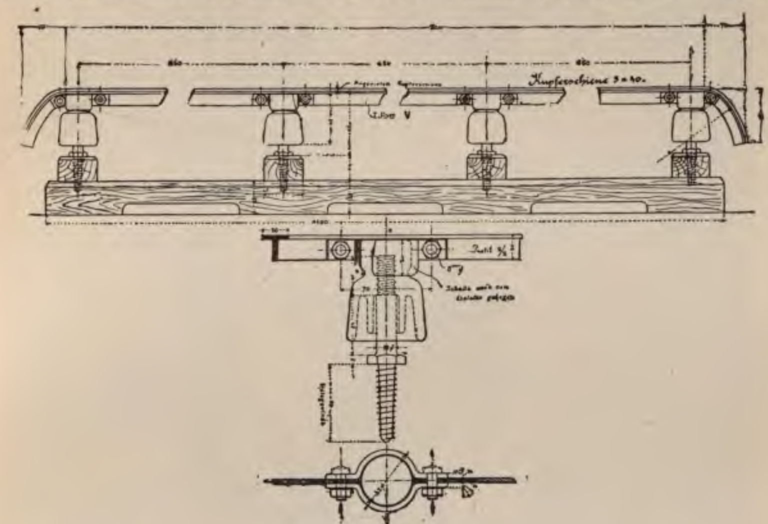
Die Pendel legen sich selbstthätig auf die Wagendachschienen, wenn der Wagen unter dem Ausleger steht, und laden ohne weitere Vorrichtung die Wagenbatterie für die nächste Rundfahrt wieder um fast ebensoviel auf, als bei der letzten Streckenfahrt verbraucht

worden ist. Des Nachts wird nur noch eine halbstündliche Nachladung erforderlich. Die Batterie wiegt 2000 *kg*, ist aber für eine grössere Strecke als die befahrene konstruiert worden.

Zu diesem System können der im Jahre 1895 angestellte Versuchsbetrieb der Grossen Berliner Pferdebahn-Gesellschaft in Berlin (Werftstrasse-Moabit), über die Uppenborn in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1895, Heft 48, S. 1433, eingehend berichtet hat und der von der Firma Hostmann & Co. in Hannover in Gemeinschaft mit der Maschinenfabrik Oerlikon zwischen Hildburghausen und Hildburg bezw. auf der Waldbahn in Frankfurt a/M. während der elektrotechnischen Ausstellung 1891 erfolgte Akkumulatorenbetrieb gerechnet werden. Bei beiden Betrieben wurden die Wagen täglich mehrmals, aber in der Ladestation selbst, aufgeladen.


Fig. 225.

Der Akkumulatorenbetrieb mit Streckenleistung kann gegenüber dem Betrieb mit Tagesleistung den Vorteil für sich in Anspruch


Fig. 226.

nehmen, die Kraftstation während 16—18 Stunden täglich voll auszunutzen, wobei auch noch in den Nachtstunden eine weitere Ausnutzung durch Aufladen der Batterien erfolgen kann. Die Wagen können morgens den Betrieb mit einer Vollladung beginnen, welche sich bis zum Betriebsschluss soweit erschöpft, dass noch ein Überschuss an Energie bleibt, der genügt, den momentanen Kraftverbrauchsschwankungen des Wagens (Anfahren, Steigungen) ohne

Beschädigung der Platten folgen zu können. Der grössere Teil des Strecken-Energieverbrauches kann während der Endaufenthalte aufgeladen werden und der Rest während der Nacht.

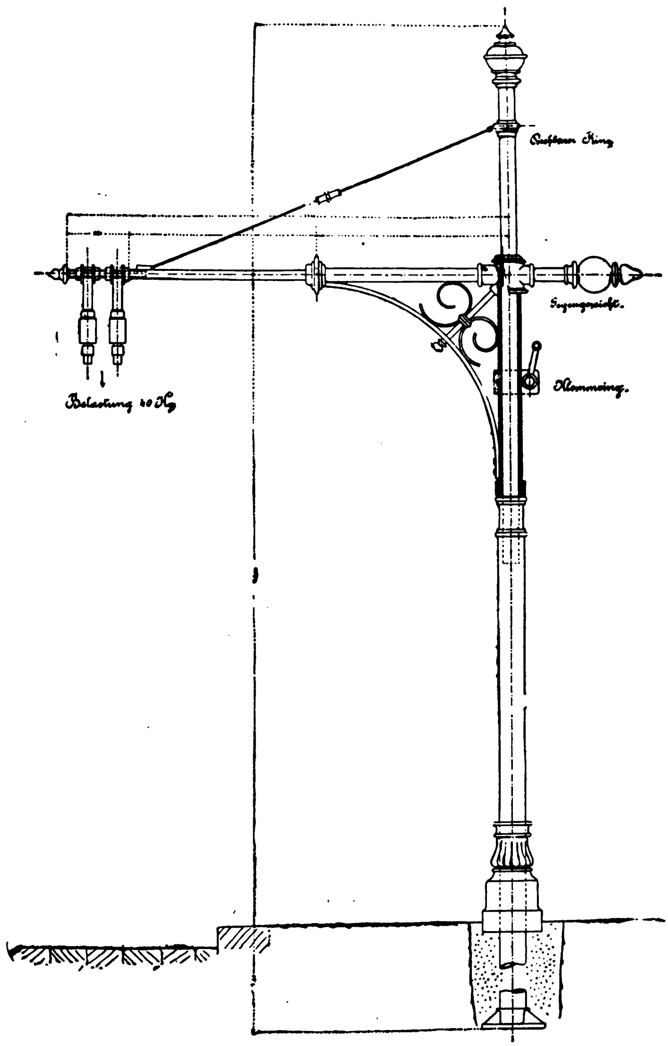


Fig. 227.

Der reine Akkumulatorenbetrieb bietet die Möglichkeit, mit geringeren Spannungen im Wagen zu arbeiten, wodurch die Isolationen der Schalter, Apparate, Leitungen und Motoren mit ein-

facheren Mitteln durchführbar sind. Sind die Ladestellen von der Kraftstation weit entfernt, so wird man Dynamo und Kabel mit den üblichen Spannungen (500—600 Volt) betreiben und die Schaltungen

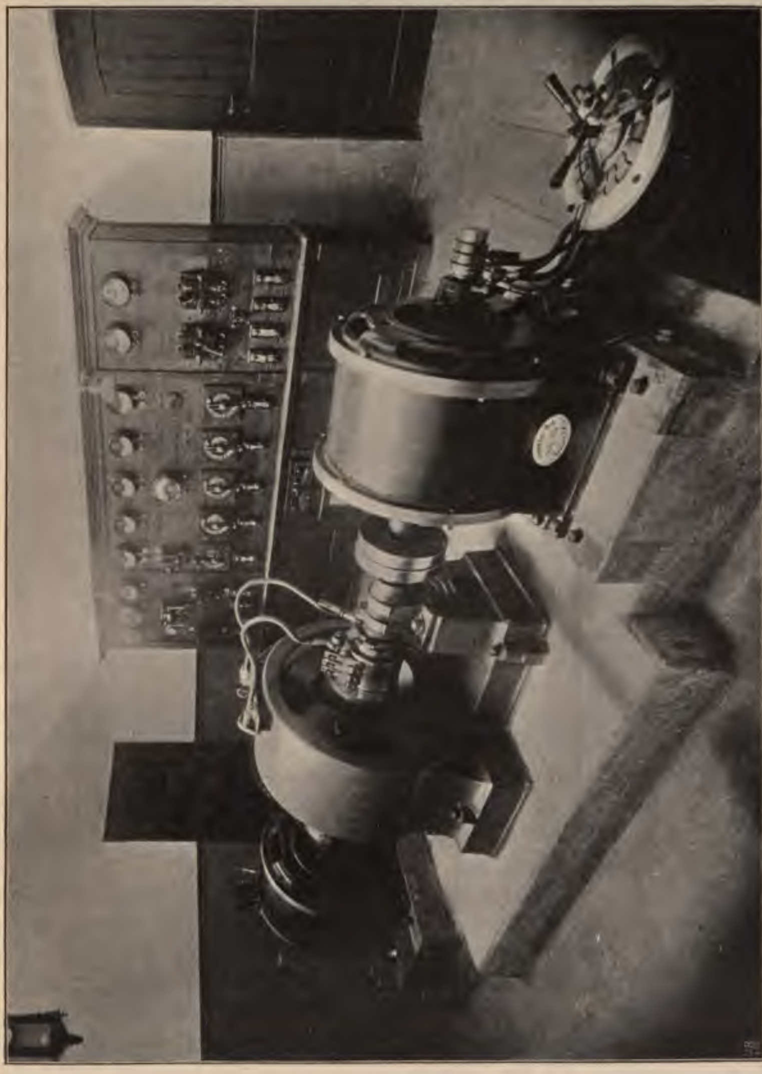


Fig. 228.

im Wagen so wählen, dass die Zellen in Reihenschaltung geladen und in Parallelschaltung entladen werden. Befindet sich eine Gleichstromlichtanlage mit Drei- oder Fünfleiter am Orte, so kann auch

mit den entsprechenden Spannungen geladen werden. Auch bietet sich, wie z. B. bei der Pollack'schen Bahn in Frankfurt a/M., bei Wechselstromlichtanlage günstige Gelegenheit, zu den Zeiten des geringen Lichtbedarfes, Strom an die Bahnen abzugeben, wobei der Wechselstrom in rotierenden Wechselstrom-Gleichstrom-Transformatoren zum Gleichstrom entsprechender Spannung umgewandelt werden muss. Die in Frankfurt a/M. zur Verwendung kommende derartige Umformerstation ist in Fig. 228 dargestellt. Die hierbei gleichmässige Stromabgabe dürfte auch den heutigen synchronen Wechselstrommotor brauchbar machen, wie Frankfurt a/M. zeigt.

b) Gemischter Akkumulatorenbetrieb.

Derselbe hat in grösserem Masse Anwendung gefunden in Hannover und Dresden und besteht darin, dass die Ladeeinrichtung des vorher beschriebenen Systems in die Länge gezogen worden ist gemäss der Strecke, welche für oberirdischen Betrieb eingerichtet ist. Die Batterie bleibt stets an die Oberleitung geschaltet, vorausgesetzt, dass die Lade- und Entladestrecke ein entsprechendes Verhältnis zu

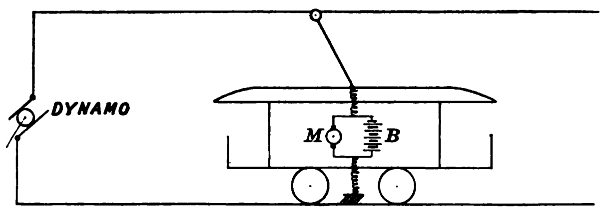


Fig. 229.

einander haben, und dass die Betriebsspannung 2,5 Volt für jede Akkumulatorenzelle nicht übersteigt. Die unter der Oberleitung stattfindende Fahrt darf die Akkumulatoren niemals mehr als voll laden. Die Schaltung im Wagen zeigt Fig. 229, woraus ersichtlich ist, dass die Batterie B und der Motor M während der Fahrt unter der Oberleitung (Ladestrecke) parallel geschaltet sind und bei der Entladestrecke Motor und Batterie hintereinander liegen müssen. Eine besondere Vereinfachung hat dieses System dadurch erlangt, dass keine anderen Apparate für die Batterie nötig sind, als sie für die direkten Stromzuführungen (oberirdisch, unterirdisch) in Anwendung kommen. Die Betriebsspannung bei diesem System wird selbstverständlich bedingt durch die Spannung der mit direkter Stromzuführung betriebenen Strecke. Es ist hierbei nicht nötig, die Batterie mit hohen Ladestromstärken wie in dem vorherigen System zu speisen, da die Zeit der Ladung eine bedeutend längere sein kann. Die Entladestromstärken dagegen müssen auch hier so gross sein, dass ein Wagen

bequem anfahren kann, ohne der Batterie Schaden zu thun. Über das Verhältnis zwischen Lade- und Entladestromstärken belehrt uns eine einfache Rechnung, deren Resultat ist, dass man die Entladestrecken möglichst klein machen muss, um die Batterie möglichst wenig arbeiten zu lassen. Da man unter der Oberleitung nur das Gewicht der Batterie mit zu schleppen hat, nicht aber von deren Wirkungsgrad beeinflusst wird, so ist klar, dass es wirtschaftlich richtiger ist, die Strecke, bei der neben dem mitzuschleppenden Gewicht auch der Nutzeffekt der Akkumulatoren in Betracht kommt, möglichst klein zu machen. In diesem Punkte ähnelt das System dem nachfolgend beschriebenen und man würde lieber zu dem letzteren greifen, wenn man es thatsächlich nur mit kurzen Entladestrecken zu thun hätte. Die Ästhetik verlangt jedoch in den meisten Fällen eine Rücksichtnahme, wo der Techniker dieselbe nicht finden kann, sodass bei gemischtem Akkumulatorenbetrieb stets grosse Entladestrecken zu durchfahren sind. Die Kapazität der Batterie reicht für diese Strecken stets aus, wenn die Batterie für hohe Anfahrstromstärken eingerichtet ist.

Über den ältesten gemischten Akkumulatorenbetrieb hat Ross in der ETZ 1897, Heft 13, Untersuchungen veröffentlicht, aus welchen hervorgeht, dass daselbst in jedem Wagen eine Batterie von 2,6 *t* bei 208 Zellen und 20—25 Ampèrestunden Kapazität untergebracht ist. Der Wirkungsgrad der Batterie hat sich zu 70—74% ergeben. Die Kapazität der Batterie wird im gewöhnlichen Betriebe nur mit 25% ausgenutzt, was mit Rücksicht auf die ungünstigen Witterungsverhältnisse, die bei Schnee und Eis eintreten, eine angemessene Reserve im Interesse der Betriebssicherheit ist. Es hatte sich in Hannover z. B. ereignet, dass bei grossen Schneeverwehungen die Akkumulatoren nicht immer in der gewünschten Weise auf den Aussenstrecken geladen werden konnten, weil der Kontakt zwischen Rad und Schiene ein mangelhafter war, und die elektromotorische Gegenkraft der Batterien in diesem Falle das ihrige dazu beitrug, nur eine schwache Ladung zuzulassen. Die Batterien konnten alsdann die verbleibenden 75% ihrer Kapazität ausnutzen und dadurch den Betrieb besser aufrecht erhalten, als wenn die Batterien nur kleineren Leistungen gewachsen gewesen wären.

Man neigt im allgemeinen der Ansicht zu, dass die im Wagen mitgeführten Batterien eine ausgleichende Wirkung auf die Stromerzeugung, ähnlich einer Pufferbatterie, besitzen sollen. Die stationären Pufferbatterien sind aber so geschaltet, dass sie bei sinkender Spannung der Dynamomaschinen mit ihrer momentanen Höchstspannung direkt stromabgebend auf das Netz einwirken und so die Dynamomaschine momentan unterstützen können. Somit lässt sich

eine ausgleichende und mithelfende Wirkung erklären, während diese bei den Wagenbatterien nur dann erfolgen kann, wenn die Netzspannung derartig sinkt, dass die Wagenbatteriespannung in ähnlicher Weise wirken kann, wie die stationäre Batterie. Man vergesse hierbei aber nicht, dass die Netzspannung stets ungefähr 5% niedriger ist als die Klemmspannung, und dass bei Rücksendung des Wagenbatteriestromes ein gleicher mittlerer Spannungsabfall eintreten wird, der alsdann 10% gegenüber der Klemmspannung ist. Ein Kraftausgleich innerhalb des Wagens kann jedoch nur bei verringerter Wagengeschwindigkeit entsprechend der Batteriespannung erfolgen, und diese ist bei den doch nur momentan wirkenden Spannungsschwankungen des Netzes infolge der bewegten Massen des Wagens nicht so schnell herbeigeführt. Die von Ross angegebenen geringeren Strom- und Spannungsschwankungen in der Centrale haben ihren Grund lediglich in der Vergrösserung des Betriebes und nicht in der ausgleichenden Wirkung der Akkumulatoren. Strom- und Spannungskurven von grossen Bahncentralen ohne jeden Akkumulator ähneln dem von Ross gegebenen Diagramm, sodass man sich also betreffs der ausgleichenden Wirkung transportabler Batterien nicht allzu grossen Hoffnungen hingeben darf.

Nächst Hannover besitzt Dresden seit Mai 1896 auf einer Linie einen gleichen gemischten Betrieb wie Hannover. Auch hier hat die Batterie eine Kapazität von 25 Ampèrestunden bei 200 Zellen, deren Gesamtgewicht aber nur 2000 *kg* beträgt. Die Batterie ist, ähnlich wie in Hannover, in der Weise an die übrigen Wageneinrichtungen angeschlossen, dass vom Stromabnehmer aus eine Leitung nach dem positiven Pol der Batterie geführt ist, in welcher sich der automatische Ausschalter befindet. Dieser dient dazu, die Batterie vor höherer Ladung und Entladung als 100 Ampère zu schützen. Alsdann folgt der Handausschalter, welcher am Führerstand angebracht ist, und durch welchen der Batteriestromkreis zur Ladung und Entladung geschlossen werden kann. Hinter demselben ist der Stromrichtungsanzeiger angebracht, der dem Wagenführer anzeigt, ob die Akkumulatoren geladen oder entladen werden. Der negative Pol der Batterie ist mit einem Erdausschalter versehen, welcher, da die Batterien im Betriebe dauernd an Erde liegen, den Zweck hat, bei Ausführung von Reparaturen die ganze Batterie von Erde abschalten zu können und die Möglichkeit eines Selbstentladens zu verringern. Ausser einer direkten Entladung durch Kurzschluss, kann auch ein Entladen der Batterie eintreten, wenn der Wagen längere Zeit in Ruhe steht oder wenn der Wagenkontakt an der durch Zufall stromlos gewordenen Oberleitung anliegt. Falls bei Kurzschlüssen, wie dies in Hannover und Dresden vorgekommen ist, der Automat

der Kraftstation ausspringt und nicht sofort wieder eingelegt wird, können die unter der Leitung befindlichen Batterien den Betriebsstrom nicht allein für die eigenen Wagen, sondern auch für andere auf gleicher Strecke befindliche hergeben. Es stellen sich dieselben in diesem Falle als fahrbare Kraftstationen dar.

Zwischen dem Erdausschalter und dem Schienenpol befindet sich der Perronschalter und Motor mit den auch für direkte Zuleitung angewandten Schaltungen, die eventuell wie in Hannover für die Entladung mit Parallel- oder Hintereinanderschaltung arbeiten. Die ganze Batterie ist noch durch drei Bleisicherungen gesichert; eine befindet sich am positiven Pol, eine am negativen Pol, während die dritte zwischen den beiden Batteriehälften eingeschaltet ist, was gleichzeitig ermöglicht, die Batterie in zwei Reihen laden zu können. Jede von der Akkumulatoren-Fabrik-Aktiengesellschaft, Hagen i/W. gelieferte Akkumulatorenzelle besteht aus zwei negativen und einer positiven Platte. Die negative Platte besitzt ein gitterförmiges Gerippe von gegossenem Hartblei und ist mit Bleiglätte ausgeschmiert. Die positive Platte besteht aus einer massiven Bleiform, welche nach dem reinen Planté-Verfahren formiert ist. Die Oberfläche einer positiven Platte beträgt 65 *qdm*, was bei der Kapazität von 25 Ampèrestunden einer spezifischen Beanspruchung von einer Ampèrestunde auf 2,6 *qdm* entspricht. Diese Beanspruchung ist als eine sehr mässige zu bezeichnen und hat zur Folge, dass die Batterien ausserordentlich betriebssicher und betriebsbillig arbeiten. Ein Auswechseln der Platten hat in Dresden nach Jahresfrist nicht erfolgen brauchen.

Die Thätigkeit des Wagenführers erstreckt sich auch hier lediglich darauf, am Stromrichtungszeiger zu beobachten, ob der Akkumulator Strom erhält oder abgiebt. Letzterer Fall kann, wie bereits erwähnt, bei der Fahrt unter Oberleitung nur dann eintreten, wenn bei irgend welchen Störungen der Strom in der Oberleitung wegbleibt oder unter die Batteriespannung sinkt, sodass sich alsdann die Batterie auf das Netz entladen kann. Um Überanstrengung der Batterie zu vermeiden, muss in solchem Falle der Akkumulator sofort ausgeschaltet werden. Die strikte Durchführung dieser Betriebsregel macht die vorhin erwähnte »Pufferung« ebenfalls illusorisch.

Wenn, wie in Dresden, die Länge der Ladestrecke so eingerichtet ist, dass ein Vollladen der Batterie durch die Oberleitung sich ganz selbstthätig vollzieht, so kann die Batterie ständig eingeschaltet bleiben. Wäre indes die Ladestrecke zu lang, müsste die Batterie an einem geeigneten Punkte abgeschaltet werden.

Die Haltbarkeit der Wagenbatterie ist von einer sorgfältigen Überwachung derselben abhängig; jedes Element, welches etwa in

seiner Kapazität nachgelassen oder Kurzschluss bekommen hat, wird herausgenommen und durch ein anderes ersetzt. Das beschädigte Element wird dann in der Werkstatt gesondert behandelt und kann in den meisten Fällen dem Betriebe wieder eingereiht werden.

Das Nachfüllen der Schwefelsäure und die Stärke der Säurelösung richtet sich nach der vergrösserten oder verminderten Beanspruchung der einzelnen Platten, genau so wie beim stationären Betriebe.

Die Reinigung der Batterien erfolgt in der Weise, dass die Schwefelsäure aus den Zellen entfernt wird, die Kästen, Platten u. s. w. mit Wasser abgespritzt werden und der Bodensatz abgefallener Masse aus dem Kasten herausgeholt wird. Dies alles kann bei geeigneten Vorrichtungen so geschehen, dass die Bleiplatten nicht auseinandergelötet zu werden brauchen.

c) Anfahr-Akkumulatoren.

Um die Geschwindigkeit der Wagenmotoren sowohl beim Anfahren als auch bei der Fahrt regulieren zu können, bedient man sich zumeist der Vorschaltwiderstände, in denen ein Teil der Energie nutzlos in Wärme umgewandelt wird. Um dies zu vermeiden, hat man versucht, die Akkumulatoren als Vorschaltwiderstände zu schalten und erhält dabei noch eine Energieaufspeicherung als nutzbares Nebenprodukt. Den hierdurch verfügbaren Strom kann man benutzen, um den Wagen z. B. auf Plätzen, wo man aus ästhetischen Rücksichten ein oberirdisches Drahtnetz mit Abzweigungen, Kreuzungen und dergleichen vermeiden möchte, oder wo man bei einer unterirdischen Leitung mit Schwierigkeiten zu kämpfen hat, ohne direkte Stromzuführung anzutreiben; diesen Strom kann man ferner zur Beleuchtung des Wagens, zum Bethätigen elektromagnetischer Stillstandbremsen und dergleichen ausnutzen. Die Batterien für diesen Zweck können wesentlich leichter gemacht werden, da sie nicht für die volle Betriebsspannung, sondern für $^1/_2$ bis $^1/_3$ der Spannung hergestellt werden brauchen. Die Anfahrstromstärke (80—100 Ampère), muss sowohl bei der Ladung als auch bei der Entladung durch die Platten gehen können, ohne sie zu überanstrengen. Die Motoren können natürlich bei der verminderten Spannung nicht mit voller Umdrehungszahl laufen; dies ist aber für den speziellen Zweck auch garnicht erforderlich. Die oben genannten Bedingungen fallen mit dem Bedürfnis zusammen, an solchen Verkehrskreuzungspunkten langsam zu fahren.

Erst mit der Entwickelung der Akkumulatorentechnik konnte dieser Gedanke einer Verwirklichung entgegengeführt werden und es werden sich, nachdem die konstruktiven Bedingungen hierfür er-

füllbar geworden sind, auch in nächster Zeit weitere Anwendungsgebiete für dieses System finden lassen. Zur Zeit sind grössere Ausführungen bei uns nicht zu verzeichnen.

d) Akkumulatoren-Lokomotiven.

Wenn man vor die Aufgabe gestellt ist, Akkumulatorenfahrzeuge, als Motorwagen, Tender und Lokomotiven, zu entwerfen, werden die nachfolgenden Berechnungen gute Dienste leisten.

Es bedeutet:

C = Kapazität des Akkumulators in Ampèrestunden.
a = Entladezeit des Akkumulators in Stunden.
Q = Gewicht des Gesamtzuges bezw. Wagens in Tonnen (einschliesslich Lokomotive, ausschliesslich Akkumulatoren).
n = Anzahl der Akkumulatorenzellen.
P = Gewicht einer Akkumulatorenzelle in *kg* (einschliesslich Zubehör).
w = Bahnwiderstand in *kg* für die *t* (Zugkraft für die *t*).
V = Geschwindigkeit in *km* in der Stunde.
v = Geschwindigkeit in *m* in der Sekunde $= \frac{V}{3{,}6}$.
e = Entladespannung des Akkumulators.
$\alpha = \frac{\text{Nutzarbeit der Lokomotive u. s. w.}}{\text{Arbeit der Akkumulatoren.}}$
L = Leistung der Lokomotive, bezw. des Motorwagens in PS einschliesslich Verlust durch Übertragungsmechanismus und elektrischen Widerstand.
$e \cdot C$ = Gesamtleistung einer Zelle in V-A-St (Kapazität).
$\frac{e \cdot C}{a}$ = sekundliche Leistung einer Zelle in V-A.
$\frac{e \cdot C}{a \cdot 736}$ = Leistung einer Zelle in PS.
$\frac{e \cdot C \cdot 75}{a \cdot 736}$ = Leistung einer Zelle in *mkg* in der Sekunde.

$$\frac{75 \cdot n \cdot \alpha \cdot e \cdot C}{736 \cdot a} = \left(Q + \frac{n \cdot P}{1000}\right) w \cdot v.$$

$$Q \cdot w \cdot v = n\left(\frac{\alpha \cdot e \cdot C \cdot 75}{a \cdot 736} - \frac{P \cdot w \cdot v}{1000}\right).$$

$$n = \frac{Q \cdot w \cdot v}{\frac{\alpha \cdot e \cdot C}{a} \cdot \frac{75}{736} - \frac{P \cdot w \cdot v}{1000}} = \frac{Q}{\frac{75}{736} \cdot \frac{\alpha \cdot e \cdot C}{a \cdot w \cdot v} - \frac{P}{1000}}.$$

$$n = \frac{Q}{0{,}102 \cdot \frac{\alpha \cdot e \cdot C}{a \cdot w \cdot v} - \frac{P}{1000}}.$$

Akkumulatorenbetrieb ist unmöglich, wenn

$$0{,}102 \frac{\alpha \cdot e \cdot C}{a \cdot v \cdot w} \leqq \frac{P}{1000} \text{ ist.}$$

$$L = \left(Q + \frac{n \cdot P}{1000}\right) w \cdot v \cdot \frac{1}{75} \cdot \frac{1}{\alpha}$$

$$= Q\left(1 + \frac{P}{1000} \cdot \frac{1}{0{,}102 \frac{\alpha \cdot e \cdot C}{a \cdot v \cdot w} - \frac{P}{1000}}\right) w \cdot v \cdot \frac{1}{75\,\alpha}$$

$$= \frac{Q \cdot v \cdot w}{75\alpha}\left(1 + \frac{P}{1000 \cdot 0{,}102 \frac{\alpha \cdot e \cdot C}{a \cdot v \cdot w} - \frac{1000\,P}{1000}}\right)$$

$$= \frac{Q \cdot v \cdot w}{75\alpha}\left(1 + \frac{1}{102 \cdot \frac{\alpha \cdot e \cdot C}{a \cdot v \cdot w \cdot P} - 1}\right).$$

IV.

Stromverbrauch.

Den Stromschluss zwischen den zwei an jeder Stelle des Bahnnetzes liegenden Polen des Betriebsstromes bildet der Motorwagen mit seinen Wagenmotoren und sonstigen Apparaten.

Die Motoren werden von dem Wagenuntergestell getragen, während die übrigen elektrischen Apparate sich in, an oder auf dem Wagenobergestell, dem Kasten, befinden. Der Kasten dient ferner, wie bei allen Gefährten zur Aufnahme der Nutzlast, in unserem Falle der Personen. Neben den Personenwagen bedarf der Betrieb noch anderer Fahrzeuge, deren äussere Gestaltung wesentlich von der Form der Personenwagen abweicht, jedoch unter das rollende Material zu zählen sind.

20. Das rollende Material.

Das rollende Material für Personenbeförderung muss an dieser Stelle eingehender behandelt werden, da die Ausbildung jedes einzelnen Teiles besondere Beachtung erforderlich macht. Der elektrische Bahnbetrieb hat die Konstruktionsbedingungen des Wagenbaues zum Teil gänzlich verändert und stellt besondere Anforderungen an denselben.

a) Wagenkästen.

Die Form der Wagenkästen für elektrischen Bahnbetrieb hat sich aus den früheren Wagenformen entwickelt.

Der Ursprung der Strassenbahnwagen ist bei den Omnibussen zu suchen. Diese von Pferden gezogenen, vom Kutscher gelenkten und vom Schaffner bedienten Strassengefährte weisen einen Kutschersitz vorn und einen Schaffnerstand hinten auf. Beide bleiben stets dem gleichen Zwecke bestimmt und sind entsprechend konstruiert. Der Schaffnerstand dient zugleich dem Publikum als Einsteigestelle. Da der Omnibus am Endpunkt wendet, so brauchen Kutscherplatz und Schaffnerstand nicht symmetrisch zu sein. (Fig. 230.)

Der nächste Schritt für die Wagenform ist der Pferdebahnwagen. Hier verlangten die Verhältnisse eine symmetrische Bauart vorn und

hinten. Kutscherstand, Schaffnerstand und Einsteigstellen mussten gleichartig werden. Man hängte (Fig. 231) an den eigentlichen Wagenkasten a den Vorder- und Hinterperron mittels besonderer Horizontalstützen b an und erreichte so die beliebige Verwendbarkeit vorn oder hinten. Zugleich musste der Kutscher seinen Sitz aufgeben und stehend sein Amt versehen.

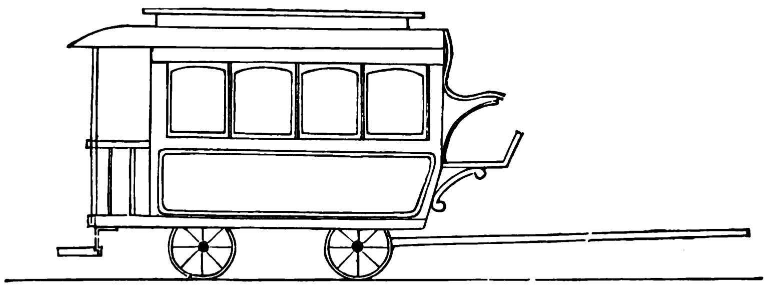


Fig. 230.

Die Perrons haben sich in der Gunst des Publikums derartig eingebürgert, dass man dieselben nach Möglichkeit zu vergrössern sucht. Die Perronstehplätze, hinten sowohl wie vorn, sind Rauchplätze im Gegensatz zu den Sitzplätzen im Wageninnern. Die Schaffung grosser Perrons bietet der Platzausnutzung günstigere Verhältnisse. Während ein Sitzplatz 0,45 bis 0,5 *qm* Grundfläche braucht, ist ein

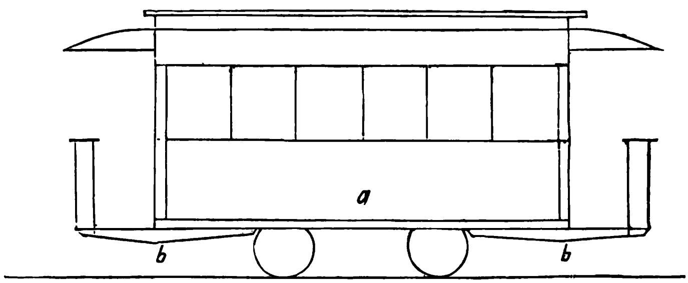


Fig. 231.

Stehplatz mit 0,25 bis 0,35 *qm* geschaffen. Es liegt daher nahe, die Perrons so gross wie möglich zu machen, zumal die Wagenausstattung bei grösserer Stehplatzanzahl billiger wird, als bei gleicher Sitzplatzanzahl.

Wenn man beim Pferdebetrieb ein besonderes Gewicht auf leichte Bauart des Wagens gelegt hat, so geschah dies mit Rücksicht auf die äusserste Ausnutzung des Pferdematerials, welchem man e grössere Leistung beim rationellen Betriebe nicht zumuten darf.

bald motorischer Antrieb in Frage kommt, fällt dieser Grund fort und es werden dem Zeitbedürfnis entsprechende stärkere Konstruktionen gerechtfertigt.

Will man bei der üblichen Bauart grosse Perrons verwenden, so muss man aus Festigkeitsgründen mit eisernen, von vorn bis hinten durchgehenden Unterzügen rechnen.

In Fig. 232 ist das Wagengerippe eines Kastens in seinen hauptsächlichsten Bestandteilen dargestellt. Der unterste Holzrahmen besteht zumeist aus Eichenholz, der obere Rahmenbau aus Eichenholz oder Eschenholz und die Verschalungen aus 10 *mm* Kiefernholz oder 2 *mm* verzinktem Eisenblech. Fourniere und Zierleisten können je nach Verwendungsart gewählt werden. Alle Zapfen müssen gut verleimt sein, während alle Eisenteile mittels Bleiweiss auf das Holz aufgelegt werden müssen, um eine elastische und abdichtende Zwischenlage zu erhalten.

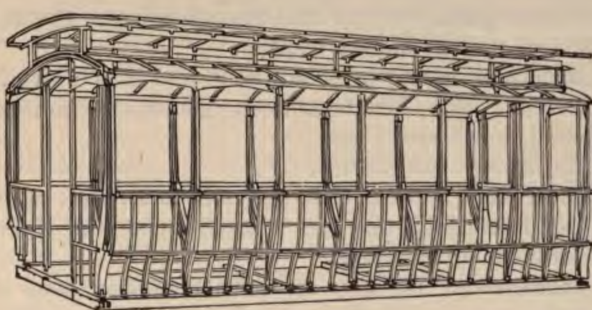


Fig. 232.

Disposition und Inhalt bewährter Wagenlieferungsbedingungen seien im folgenden auszugsweise wiedergegeben:

1. Fassungsraum (Sitzplätze, Stehplätze, Bedienungsmannschaft).
2. Hauptmasse des Wagenkastens:

Dieselben richten sich nach den örtlichen Bestimmungen, welche grösste Breite, Länge und Höhe angeben. Für eine Sitzplatzbreite rechnet man 0,5 *m*. Unter 2 *m* Kastenbreite empfiehlt sich die Anbringung von Längssitzen, über 2 *m* können Quersitze eine günstigere Raumausnutzung gewähren.

3. Qualität der verwendeten Materialien:

a) Beschaffenheit und Art der Hölzer. Vollkommene Trockenheit muss möglichst durch angemessene Lagerung, nicht durch künstliche Austrocknung erfolgen. Die Hölzer sollen splint- und astfrei sein.

Die Dachspriegel sind aus krummgewachsenem Holz zu fertigen oder unter Dampf zu biegen.

b) Beschaffenheit und Art der Metalle. Das zu verwendende Schmiedeeisen muss von gleichmässiger sehniger Struktur, von bester zähester Qualität sein und darf keinen Kaltbruch zeigen. Bei den Beschlägen dürfen Teile nie stumpf gegeneinander geschweisst sein, sondern vollkommen ganz geschmiedet und durchgängig mit der Feile katzgrau bearbeitet sein. Mit besonderer Sorgfalt sind alle zu Tage tretenden Teile zu bearbeiten. Das zu verwendende Gusseisen muss grau, dicht, rein und sauber gegossen sein.

Das schmiedbare Gusseisen, welches zur Anwendung kommt, ist von bester Qualität zu wählen.

Alle Beschläge und Griffe sind solid und sauber gearbeitet von Rotguss herzustellen.

4. Anstrich des Holzes und der Metalle:

Zum Schutze gegen Fäulnis und Rosten müssen alle Teile gründlich imprägniert und grundiert werden.

Die Lackierung muss dauerhaft sein und darf nicht rissig und sprüngig werden. Die Fensterrahmen müssen gründlich mit gekochtem Leinöl durchtränkt sein.

5. Abdeckung der Dächer:

Die Dächer sind gut zu ölen und mit Leinwand, welche thunlichst für jede Dachfläche aus nur einem Stücke ohne Naht bestehen muss, wasserdicht einzudecken.

Die Dachleinwand ist nur an solchen Stellen und in solcher Weise zu befestigen, dass infolge der Befestigung keine Feuchtigkeit unter die Leinwand treten kann. Vor Auflegen der Leinwand ist das Dach mit einer breiigen Masse, welche durch Mischung von 15 *kg* Firnis, 2,5 *kg* Burgunderharz, 15 *kg* Schlemmkreide, 2,5 *kg* Goldocker, 2,5 *kg* Umbra und 2,5 *kg* Silberglätte hergestellt ist, zu bestreichen und hierauf die Leinwand zu spannen und gut anzudrücken.

Die Oberfläche der Leinwand ist dann dreimal mit Waterproof-Firnis zu streichen.

Die zum Eindecken verwendete Leinwand darf keine Jute enthalten.

Auf dem Dach ist ein Laufrost anzubringen, welcher leicht abnehmbar sein muss.

Die Stärke der Dachbretter soll 18 *mm* sein. Die Kanten der Perrondächer sind mit Blech zu beschlagen und schwarz zu streichen.

6. Konstruktion des Wagenkastens:

Dieselbe ist von dem Gesichtspunkte aus durchzuführen, dass die geschlossenen Wagenkasten auf zweiachsigen eisernen Untergestellen für die betreffende Spurweite aufgesetzt werden. Eine

100%ige Personenüberlastung darf keine bleibenden Formveränderungen in Gefolge haben.

Die Sitze sind als Latten- bezw. Leistensitze oder als Fourniersitze zu gestalten.

Die Sitzplatten sind leicht abnehmbar zu machen. Die Verschalung soll der Reinigung wegen der ganzen Länge nach abnehmbar sein, also z. B. durch Riegel eingesetzt werden.

In einer Ecke ist unter den Sitzen ein verschliessbarer Werkzeugkasten anzuordnen.

Die Fenster sollen leicht beweglich und durch gute Federvorrichtungen gegen das Wackeln gesichert sein; sie sollen durch Eckwinkel von kräftigem Messingblech von 20 × 2,5 = 100 *mm* gegen Verschiebung gesichert sein.

Die untere Umrahmung der Fensteröffnungen muss mit Winkeleisen belegt sein, deren Schenkel 15 *mm* über die Bekleidung herausragen, damit das von den Fenstern ablaufende Regenwasser nicht über die Bekleidung läuft. Vor jedem herablassbaren Fenster muss sich auch eine herablassbare Jalousie befinden.

Die seitlichen Ventilationsfenster im Dachaufsatz müssen in Metallscharnieren beweglich sein. Sämtliche Scheiben sind in Gummi zu legen.

Die Wagen sind mit leicht beweglichen und gut schliessenden Schubthüren zu versehen, welche sich nicht von selbst öffnen können. Auf beiden Seiten der Wagenthür sind in der Stirnwand des Wagens Fenster bezw. Doppelfenster anzubringen, welche durch je vier Messingstäbe zu sichern sind. In den Thüren sind Zahlfensterklappen anzubringen.

Die Sandstreuer sind vom Perron aus bedienbar einzurichten. Die Schieber der Sandstreuer und die an den Wagenboden unten angeschraubten Sandtrichter sind gegen Spritzwasser und Abtropfwasser zu schützen.

Die Dielen des Fussbodens sind mit Nut und Feder zu versehen, damit sie sich nicht werfen. Die Fussbodenstärke im Wagen und auf den Perrons soll mindestens 25 *mm* betragen.

Um die Zugänglichkeit zu den Motoren zu ermöglichen, müssen entsprechende Fussbodenklappen angeordnet werden.

In zwei Ecksäulen des Wagenkastens und zwar dort wo die geöffneten Schiebethüren nicht liegen, sind vom Dach bis zum Fussboden Rillen von 20 *mm* Durchmesser zu führen, in welche der Stromleitungsdraht gelegt werden kann. Für diese Leitungen sowohl, wie für alle Licht- und Klingelleitungen sind entsprechend polierte Deckleisten mit zu liefern.

Die Laufroste in den Wagen sind aus Buchenholz herzustellen.

Im Innern des Wagens sind Riemenschleifen zum Festhalten stehender Fahrgäste anzubringen. An den Wagenkastenstirnwänden sind aussen vier starke horizontale Quergriffe in Rotguss von Ecksäule zur Thürpfostensäule in einer Höhe von 85 *cm* von Perron-Fussbodenoberkante anzubringen.

Zum Anbringen der Annoncen sind je zwei Leisten als Längsführungen und je eine schmale, mittlere Befestigungsleiste vorzusehen.

Die beiden äusseren Perronunterzüge sind von vorn bis hinten durchgehend aus U-Eisen, die inneren aus, mit Winkeleisen armierten Blech herzustellen. Acht Perronsäulen, welche die Perronthüren begrenzen, sind bis zum Dach durchzuführen.

Eine feste Leiter zum leichten Besteigen des Wagendaches ist anzubringen.

Die Dachentwässerung ist nicht durch die Perronsäulen, sondern an je zwei Punkten der Längsseiten des Wagens zu bewirken.

Die Winkeleisen des Perronbleches sind mit durchgehenden Mutterschrauben an das Holz anzuschrauben. Die lichte Länge der Plattform ist 1170 *mm* zu machen.

Die Wagentritte sind aus ◇ Sprosseneisen (parallel der Längsrichtung der Tritte) herzustellen.

Die Radschutzkästen sind ganz aus Blech zu fertigen, von unten in die entsprechende Fussbodenöffnung einzuführen und mit durchgehenden Mutterschrauben von unten zu befestigen.

Die Signalgebung zwischen Schaffner und Führer erfolgt mittels elektrischer Klingeleinrichtung.

In den meisten Fällen sind zweiachsige Wagen in Verwendung.

In Fig. 233 erfolgt die typische Darstellung eines Pferdebahnwagens.

Da die elektrischen Strassenbahnen an Stelle der Pferdebahnen treten sollten, lag der Gedanke sehr nahe, den Pferdebahnwagen als Modell für die ersten elektrischen Strassenbahnwagen zu nehmen und die elektrische Einrichtung in denselben einzubauen. Natürlich sind dabei alle Übel und Mängel, welche dem Pferdebahnwagen besonders betreffs der Verbindungskonstruktionen zwischen den Laufrädern und dem Wagenkasten anhaften, auch bei den ersten elektrischen Wagen zum Vorschein gekommen und hier in stärkerem Masse zur Geltung gelangt, weil die Anforderungen an grössere Geschwindigkeiten, rascheres Anhalten und Anfahren bedeutend gestiegen sind.

Diese Übel und Mängel bestanden bei den Pferdebahnen gewissermassen zu Rechte, da man bei Konstruktion und Ausführung dieser Wagen nur mit tierischen Leistungen rechnen konnte und es mussten manche Bestrebungen auf Verbesserungen fromme Wünsche

bleiben, weil dieselben bei ihrer Verwirklichung und Ausführung die Grenzen des höchsten, noch zulässigen Gewichtes der Pferdebahnwagen überschritten hätten.

Der Wagenkasten ruht vermittelst Tragfedern elastisch auf den Achslagern, zu welchem Zwecke letztere mit beiderseits angegossenen Vorsprüngen versehen sind. Die senkrechte Lage der Tragfedern ist durch Bolzen gesichert, welche am Wagenkasten befestigt und mit schrägen Streben gegen denselben abgesteift sind. Die beiden Lagerkasten sind je an einer Längsseite noch mit einer kräftigen Stange verbunden, um eine gegenseitige Horizontalverschiebung der Achsen zu verhindern. Die Bremsklötze sind mit einem kurzen Gelenkstück direkt am unteren Holzrahmen des Wagenkastens aufgehängt.

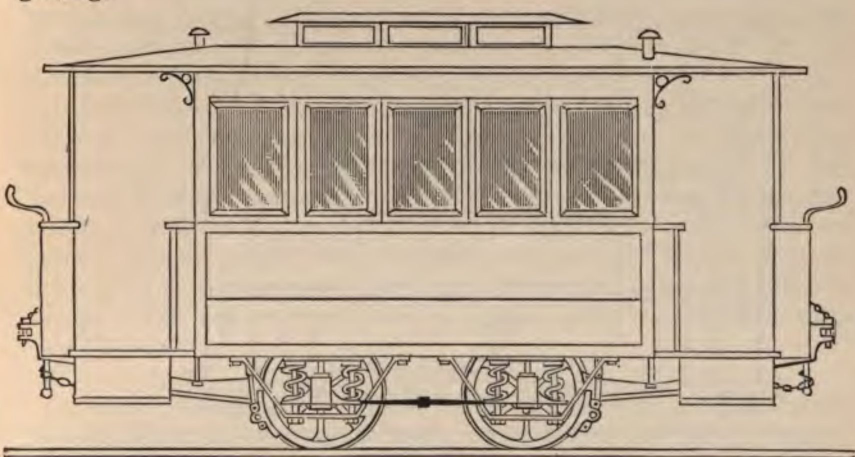


Fig. 233.

Diese Konstruktion ist die denkbar einfachste und leichteste, hat aber ihre Nachteile; z. B. ist der Federnstand abhängig von dem Radstand, welcher selten grösser sein kann, als 1,50 *m*, wegen des Durchlaufens von Kurven mit kleinem Halbmesser. Bei kleinem Federnstand kommt sehr häufig der Wagen bei den geringsten Unebenheiten der Gleise in ein unangenehmes Wiegen. Auch bewirkt die ebenbesprochene Aufhängung des Bremsklotzes, dass der letztere, besonders bei raschem Bremsen, dem Fussboden oft starke Vibrationen mitteilt, welche für die Fahrgäste unangenehm sind. Diese Übel mussten, wie dies ohne weiteres klar ist, bei den grösseren Geschwindigkeiten der elektrischen Bahnen wachsen. Ausserdem bot diese Konstruktion auch keinen richtigen Anhalt für eine gute Aufhängung der Elektromotoren, für welche der Wagenkasten selbst

benutzt werden musste, in dieser Verbindung diente aber der Fussboden für die ohnehin nicht sehr schweigsamen Elektromotoren der ersten Zeit als Resonanzboden und verstärkte das unangenehme Geräusch der Motoren.

Heute finden derartige Wagentypen nur noch als Anhängewagen Verwendung. Für den motorischen Betrieb ist man allgemein zu der Verwendung besonderer Untergestelle übergegangen, um zu erreichen, dass bei grösserer Wagenlänge bezw. bei Verwendung grösserer Perrons das unangenehme Schaukeln vermieden wird, weil man alsdann die Federn mehr nach vorn und hinten legen kann. Zudem kommt, dass durch das Untergestell ein passendes Auflager für den besonders federnd aufgehängten Motor geschaffen wird.

In Fig. 234 wird schematisch die Konstruktion der neueren

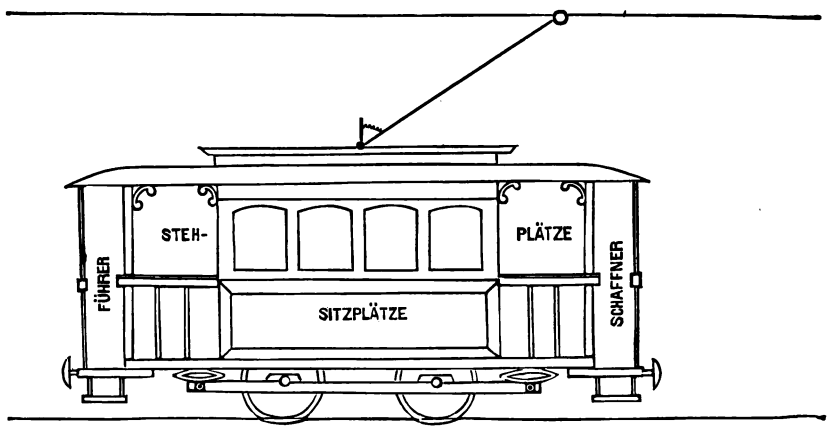


Fig. 234.

Motorwagentypen dargestellt, bei welcher das Bestreben vorherrschen soll, dem Wagenbedienungspersonal einen gesonderten Stand zu geben und die Stehplätze von diesem abzutrennen. Besonders der Führer wird unter Beibehaltung der alten Wagenform bei vollbesetztem Vorderperron in seiner Thätigkeit des Schaltens, Bremsens, Sandstreuens und Signalgebens behindert. Für das Ein- und Aussteigen der Fahrgäste ist es hinten wünschenswert, einen während der Fahrt unbesetzten Zugang zu haben.

Unstreitig hat sich durch den elektrischen Betrieb das Fahrbedürfnis gehoben und dadurch sind grössere Wagentypen erforderlich geworden. Die zweiachsige Type erreicht jedoch sehr bald ihre Grenze in der Beanspruchung der Konstruktionsmaterialien und in der Belastungsfähigkeit der Schienen. Kommt nun noch hinzu, dass die Wagen mit Akkumulatorenbatterien versehen sind, deren Minimal-

gewicht 2000 *kg* beträgt, so macht sich das Bedürfnis nach drei- oder vierachsigen Wagen geltend. In der Fig. 235 ist der bei der Budapester Stadtbahn eingeführte vierachsige Motorwagen mit Drehgestell konstruktiv dargestellt. Derselbe zeigt in seiner Sitzplatzanordnung eine gute Platzausnutzung für 29 Sitzplätze, welche bei Anwendung von nur Längssitzen bei der lichten Wagenbreite von 2060 *mm* nicht zu erreichen gewesen wäre. Zudem zeigt der Wagen noch geschlossene Perronwände, um dadurch einmal dem Führer Schutz zu bieten und zum anderen die Stehplätze des Vorderperrons bei schlechtem Wetter zu angenehmen zu machen. Fig. 236 zeigt den bei den kleinspurigen oberschlesischen elektrischen Strassenbahnen verwendeten Drehgestellwagen mit Längssitzen für 28 Sitzplätze. Ausserdem ist an diesem Wagen neben der mechanischen Kurbelbremse eine Luftdruckbremse zum Gebrauch montiert, um zu ermöglichen, dass eine vom elektrischen Strome vollständig unabhängige Bremse auch für die motorlosen Anhängewagen bethätigt werden kann.

Ein Nachteil der langen Wagenkästen liegt darin, dass dieselben auf dem, dem Strassenpflaster angepassten Gleise zu viel tortierende Bewegungen mitmachen müssen und dadurch die Verzapfungen des Kastens übermässig beansprucht werden. Als Vorzug ist zu bezeichnen, dass die Wagen geräuschloser und leichter durch die Kurven fahren. Ferner laufen diese Wagen viel sanfter, weil die Stösse, welche durch Unebenheiten der Spur entstehen, besser ausgeglichen werden. Die Schaukelbewegungen können beim Doppelgestell ganz beseitigt werden.

b) Untergestelle.

Unter Untergestell versteht man den Rahmen, der die gesamten beweglichen Teile des Wagens trägt, insbesondere die Räder, Federn, Bremsen, Motoren. Man hatte, wie bereits erwähnt, anfangs den Wagenmotor am Rahmen des Wagenkastens befestigt und ging mittels elastischer Übertragungen zur Triebachse.

Sprague machte dann einen Schritt weiter, indem er den Motor mit dem einen Ende an dem Fussboden des Wagenkastens befestigte und mit dem anderen auf der Radachse lagerte. Er erzielte dadurch eine feste Entfernung zwischen Rad und Motor, aber die Stösse des Wagens gaben dem Motor eine für den Wagen nachteilige störende Bewegung.

Die Idee des gesonderten Untergestelles tauchte bereits im Jahre 1885 auf und wurde zwei Jahre später allgemein eingeführt. Bei allen älteren Untergestellen ruhte der Rahmen unmittelbar auf den Lagern; infolgedessen wurden durch die Stösse und Erschütterungen die Metallmassen krystallinisch und die Motoren beschädigt, auch war es unmöglich, Bolzen und Schrauben dicht zu halten. Man

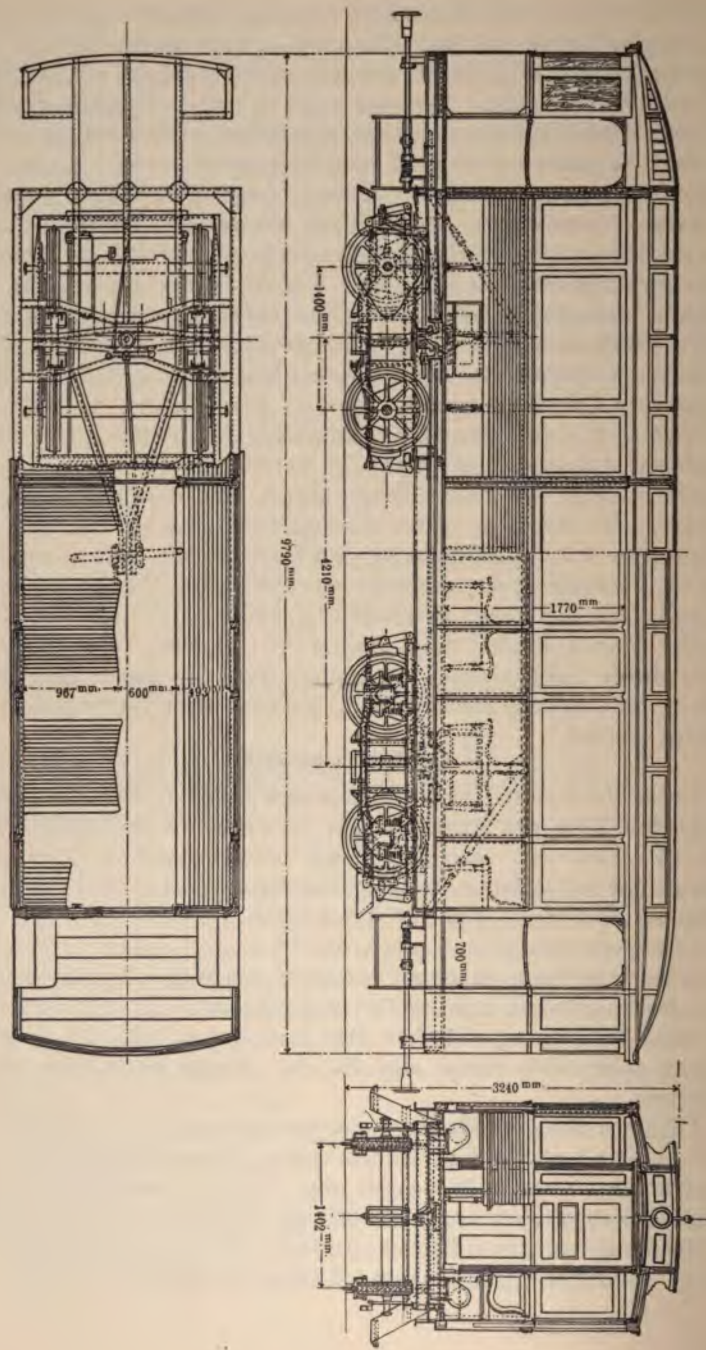

1400mm
9790mm
4210mm
1770mm
967mm
600mm
700mm
3240mm
1402mm

Fig. 235.

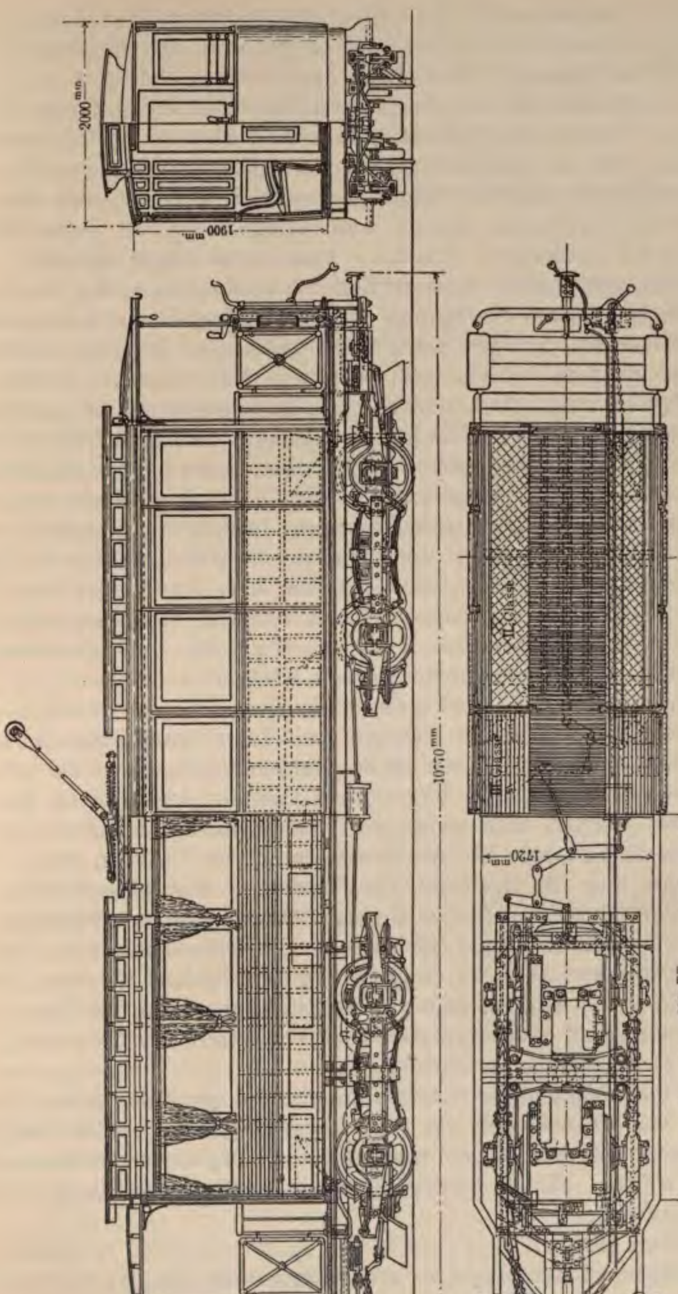


Fig. 236.

schob zwischen Rahmen und Lager ein elastisches Zwischenglied ein und legte zunächst zwischen die Lager und das Lagergestell ein dickes Stück Gummi. Wenngleich nun die Idee richtig war, so liess doch die Ausführung zu wünschen übrig, weil Gummi nur geringe Elastizität besitzt, durch Öl aufgelöst wird und wenig dauerhaft ist.

Man griff zu Spiralfedern, welche auf die Lager gesetzt wurden, allein der Raum über dem Lager war so gering, dass man eine sehr steife Feder anwenden musste und damit nicht viel mehr als mit der Gummizwischenlage erzielte. Ausserdem zeigte es sich, dass diese Lage der Feder eine seitlich ruckende Bewegung der Lager begünstigte. Durch Anfügung von Vorsprüngen zu beiden Seiten des Lagersockels, auf welchen Federn aufsassen, gewann man Raum für zwei längere Federn von grösserem Durchmesser, welche die Last bequem tragen konnten und genügende Bewegung gestatteten. Diese Anordnung gab den Lagern eine sichere und stossfreie Stellung.

Die ersten Untergestelle hatten zwar schon alle wesentlichen Teile des heutigen Untergestelles, waren aber noch keineswegs vollkommen und verlangten Abänderungen, welche die Betriebsverhältnisse bedingten. In erster Reihe musste die Herausnahme der Räder und Achsen sich ebenso leicht erzielen lassen, wie bei den alten Lagern der Pferdebahnwagen. Man erreicht dies dadurch, dass durch das Emporheben des Rahmens die Achse und die Räder bequem unten herausgenommen werden können.

Früher hatte man die Bremsen am Wagenkörper befestigt. Man fand aber bald, dass die Bremsen bei elektrischen Strassenbahnen eine andere Bedeutung haben als bei Pferdebahnwagen, da die grössere Fahrgeschwindigkeit und das höhere Gewicht des Wagens das Anhalten des Wagens erschweren und zudem kurzes Anhalten ein unbedingtes Erfordernis für die Vermeidung von Unfällen ist.

Wenn nun die Bremsen am Fussboden des Wagenkastens befestigt waren, so kamen die Bremsklötze bei starker Belastung des Wagens zu weit vom Rad zu stehen, die Bremskette hing zu weit hinunter und konnte nicht rasch genug herangeholt werden. Dieser Übelstand wurde einfach dadurch beseitigt, dass man die Bremse an dem Untergestell befestigte, sodass sie durch die Bewegung der Federn nicht beeinflusst wurde.

Nachdem mit diesen Anordnungen die grundlegenden Fragen erledigt waren, tauchten die verschiedenartigsten Formen und Konstruktionen auf, von denen hierunter die gangbarsten wiedergegeben werden sollen. Einige der wichtigsten Ausführungsbedingungen sind die folgenden:

1. Das Gestell:

Dasselbe ist mit Diagonal- und Eckversteifungen so zu versehen,

dass einseitige Beanspruchungen die rechteckige Form nicht beeinträchtigen können. Die Träger dürfen an keiner Stelle, selbst bei 100 %iger Personenüberlastung, eine bleibende Formveränderung hinterlassen. Die Achsgabelöffnungen in den Trägern müssen gegen Aufreissen oder Zusammendrücken geschützt werden.

2. Das Bremsgestänge:

Alle für das Bremsgestänge benutzten Zugstangen müssen mit geschweissten Ösen versehen sein.

3. Die Kuppelung:

Die mit Zug- und Druckfeder versehene Pufferstange hat ihren Drehpunkt am Untergestell. Für die in Anbetracht kommenden Zugkräfte soll die Feder genügende Elastizität besitzen. Die Mitte des Puffers muss ca. 500 *mm* über Schienenoberkante liegen. Der Angriffspunkt der Kuppelung ist möglichst nahe dem geometrischen Mittel der ziehenden bezw. gezogenen Achse zu legen. Die Kuppelung zwischen ziehendem und gezogenem Wagen muss gerade und möglichst starr sein, sodass sich die nickenden Bewegungen des Motorwagens nicht auf den Anhängewagen übertragen.

4. Die Wagenfedern:

Die Wagenfedern sind auf jeder Seite durch ein Flacheisen zu verbinden und durch dasselbe mit dem hölzernen Längsbalken des Wagenuntergestells mittels Mutterschrauben zu befestigen.

Die gesamte Federkraft ist so zu bemessen, dass das unangenehme Wippen der Wagen bei jeder Belastung vermieden ist.

5. Verbindung zwischen Untergestell und Kasten:

Die Verbindung des Untergestells mit dem Wagenkasten muss in allen Teilen derartig sein, dass der Wagenkasten nur nach dem Lösen von durchgehenden Mutterschrauben sich abheben lässt ohne dass irgend welche Teile, Leitungen u. s. w. zerstört werden.

6. Bahnräumer und Seitenschutz:

Jeder Bahnräumer besteht aus einem im Kreisbogen oder spitzem Winkel hergestellten Blechschutz, welcher dicht über Schienenoberkante herabreicht. Die beiden Bahnräumer werden durch einen seitlichen Blechschutz ausserhalb der Räder verbunden.

An den Stellen, an denen die Bahnräumer mit dem Seitenschutz zusammenstossen, sind starke Versteifungen anzubringen.

Die unterste Kante ist mit Halbrund-Eisen einzufassen.

Die Entfernung der Bahnräumer von den Rädern und Bremsklötzen soll noch die Anbringung kleinerer Schienenreinigungsapparate an der Rückseite der Bahnräumer gestatten.

7. Anstrich:

Sämtliche Eisenteile sind mit Bleimennige-Anstrich zweimal zu grundieren und mit gutem Ölfarben-Anstrich zweimal zu überziehen.

Ein sehr häufig angewandtes Untergestell zeigt Fig. 237. Dasselbe besteht hauptsächlich aus zwei aus Stahlblech gepressten Längsträgern mit ⊔-förmigem Querschnitte, welche gabelförmig die beiden Achslager umfassen. Die beiden Längsträger sind durch Querverbindungen aus ⊔-Eisen zusammengehalten. Der Federnstand kann hierbei ohne weiteres grösser sein als der Radstand; die Aufhängung der Bremsklötze, sowie überhaupt diejenige der ganzen Bremsvorrichtung, lässt sich leicht an den äusseren Querträgern bewerkstelligen. Eine mittlere mit Dreieckversteifung einzusetzende Querverbindung dient zu gleicher Zeit zur Aufhängung der Motoren. Vorn und hinten am Untergestell sind dachförmige Schienenräumer angebracht, um etwa auf dem Gleise liegende Gegenstände bei Seite zu schieben, damit dieselben sich nicht bei der Fahrt zwischen die Motoren und die Erdoberfläche klemmen können. Die Motoren reichen mit ihrem tiefsten Punkte oft auf 60—100 *mm* über Schienenoberkante herab. Die Federung zwischen Wagenkasten und Untergestell geschieht mittels acht kräftiger Spiralfedern. An den Enden der Längsträger sind ausserdem noch sogenannte Blattfedern angebracht. Die Blattfedern haben zwei Vorzüge, erstens sind dieselben äusserst wirksam gegen Horizontalverschiebungen und nehmen Stösse auch in genannter Richtung leicht auf; zweitens besitzen sie eine hemmende Federung, indem die einzelnen Blätter während des Federns unter ziemlichem Druck aufeinander reiben, es kommt deshalb die Feder nach kurzer Zeit wieder zur Ruhe. Traversen gegen Horizontalverschiebungen können daher hier wegfallen.

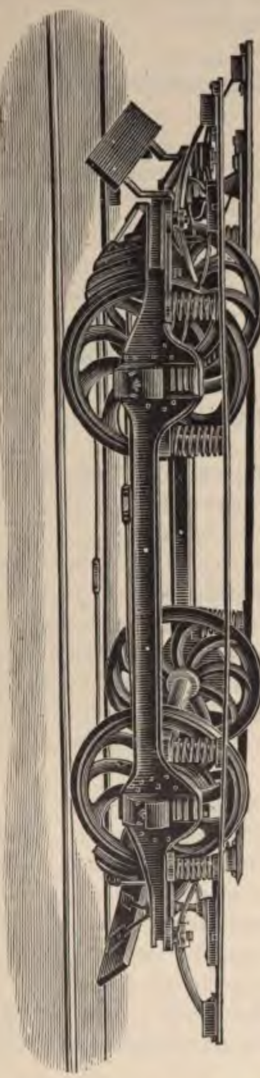


Fig. 237.

Zur Vermeidung gepresster Bleche hat man genietete Rahmen verwendet.

Fig. 238 zeigt eine elegante und dabei äusserst vorteilhafte Form

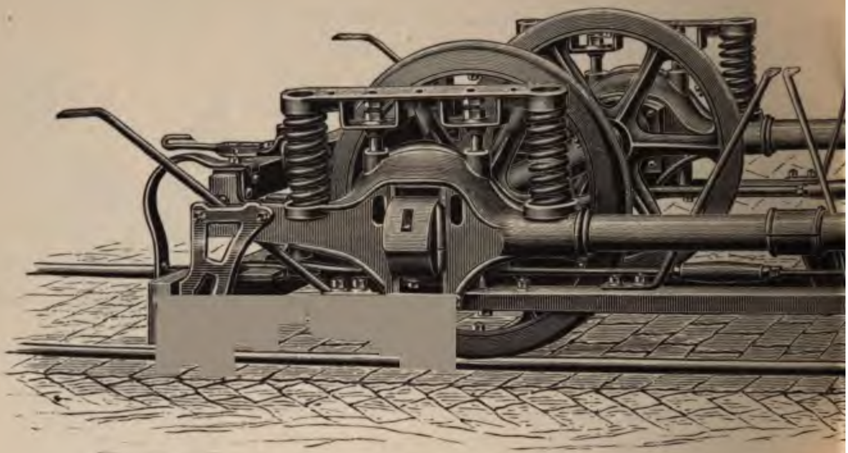


Fig. 239.

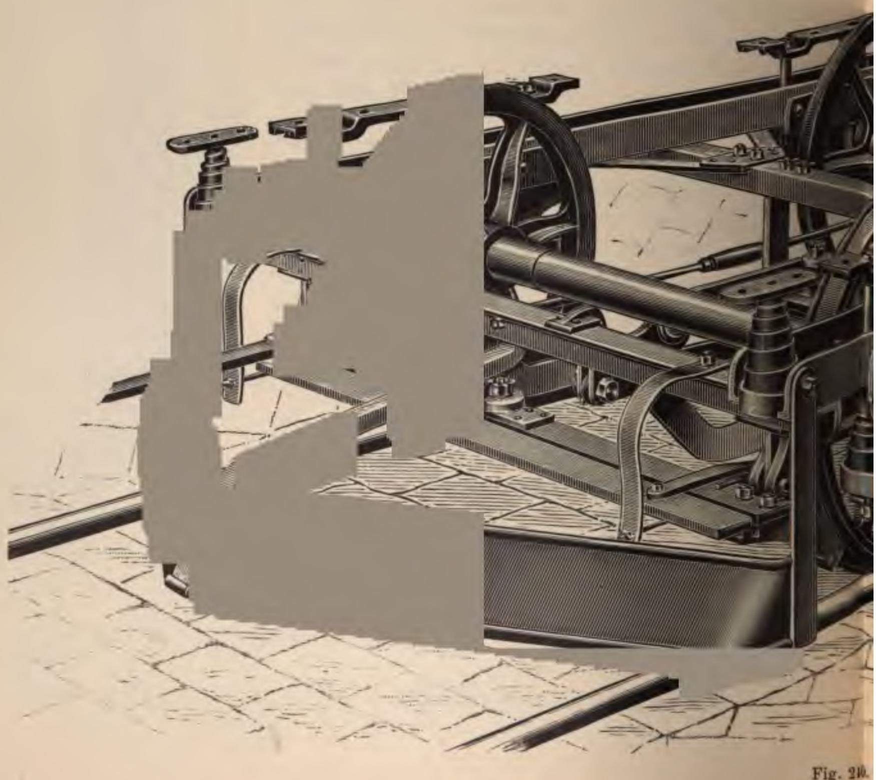
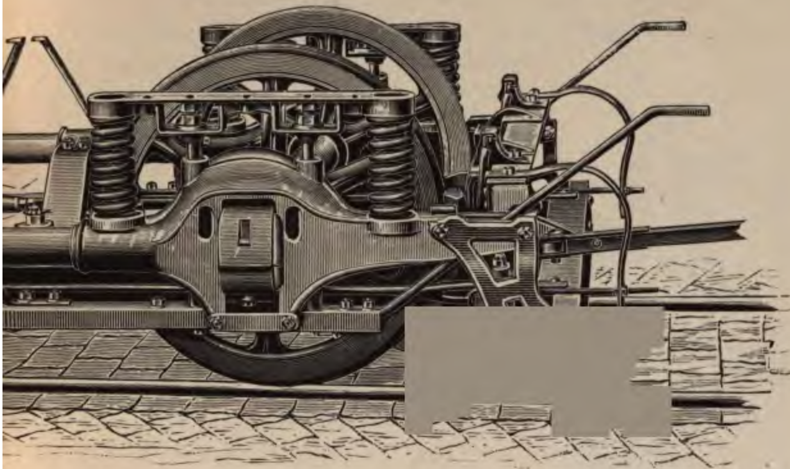
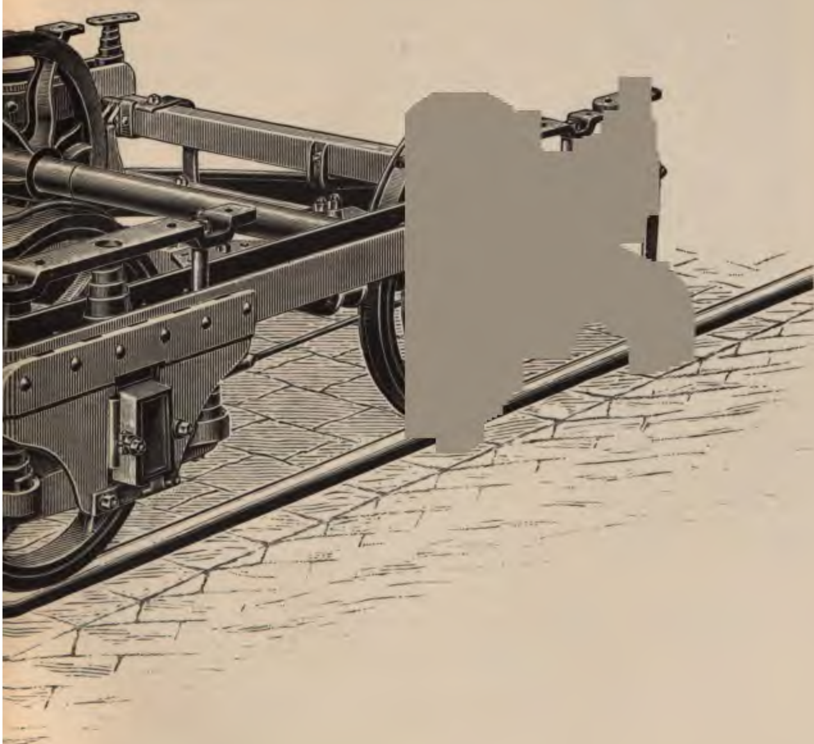


Fig. 240.







der Längsträger aus zusammengenieteten Flacheisen. Der Raum für die Blattfedern ist von selbst gegeben. Die in der Mitte angeordnete Blattfeder wird jedoch ein Wiegen des Wagens in der Längsrichtung unterstützen und könnte besser wegfallen.

Unter den Lagern ist der Träger unterbrochen, um die Achse leicht herausnehmen zu können.

Unter Verwendung von Stahlguss für auf Biegung beanspruchte Untergestellteile lassen sich gefällige Formen darstellen, wie Fig. 239 zeigt. Dieses Gestell eignet sich jedoch nur für sehr kurze Wagen, da es die Unterstützungspunkte des Wagenkastens nicht viel über die Achse hinaus verlegt. Dadurch besitzt es den Vorzug, keine unnötigen Hebelarme zu schaffen, die die Konstruktionen schwer und teuer machen. Zugleich zeigt das Bild die Aufhängung des Motors nach dem Systeme der Union, Elektrizitäts-Gesellschaft Berlin. Die Spiralfederanordnung bedingt horizontalwirkende Verstrebungen mit dem Wagenkasten, wie solche in der Mitte und an den Enden ersichtlich sind. Dieselben sind an einem eisernen Verbindungsträger befestigt, welcher zum Wagenkasten keine Bewegung machen kann.

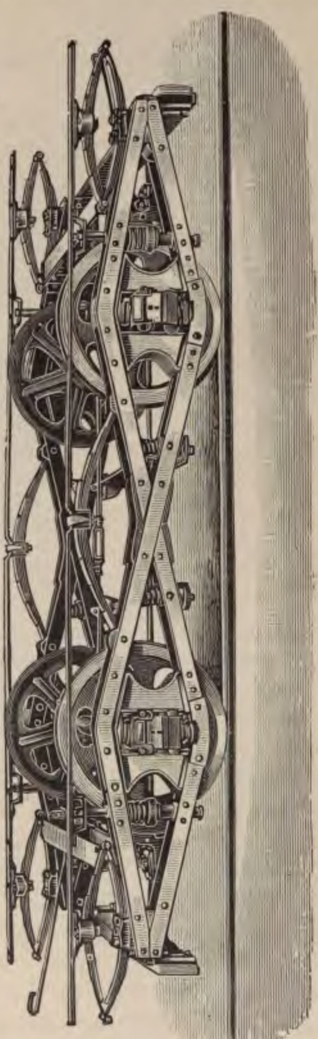


Fig. 238.

In Fig. 240 wird das in Deutschland, neben dem in Fig. 237 dargestellten, verbreitetste Untergestell gezeigt. Dasselbe besteht aus Stahlgusslagern, Stahlgussachsgabeln und doppelter Schneckenfederung durch 16 Federn. Der Verbindungsrahmen wird nur durch Winkeleisen gebildet und ist in der Mitte durch ein U-Eisen, welches zugleich das freie Motorende trägt, versteift. Die zuletzt genannten Untergestelle werden von der »Bergischen Stahl-Industrie« in Remscheid fabriziert.

Bei all' den vorerwähnten Untergestellkonstruktionen ist das

Wiegen der Wagen noch nicht vollständig beseitigt und wird noch besseres erreicht werden, wenn die senkrechten Auf- und Abbewegungen der beiden Wagenkastenenden voneinander abhängig gemacht werden, d. h. die Enden der Längsträger zwangsläufig verbunden sind, sodass nur gleichzeitiges Auf- und Abbewegen der beiden Enden je eines Längsträgers stattfinden kann. Eine solche Konstruktion zeigt Fig. 241. Dieselbe ist in dieser Form noch nicht praktisch ausgeführt worden, zeigt aber die Möglichkeit, wie man dem Übelstande des Nickens auf einfachste Art abhelfen könnte.

Für die Drehgestellwagen sind vorstehende Untergestelle mit einigen Abänderungen für die Drehzapfen bezw. die Rundführungen und für die Bremse zu versehen. Im übrigen bleiben die vorstehenden Bedingungen in Geltung. Eine Drehgestellkonstruktion mit Mittelzapfen wird durch Fig. 242 dargestellt. Der auf Blattfedern ruhende Querträger trägt dicht neben den Federn ein Gleitstück, auf welchem ein entsprechender Kastenquerträger schleift. Der Mittelzapfen hat demnach nur noch die Aufgabe zu führen und ist unbelastet. Sollen beide Untergestelle von einem Wagenperron

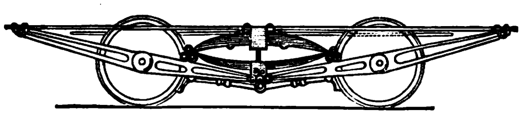


Fig. 241.

aus zu gleicher Zeit gebremst werden, so macht die Durchführung des Bremsgestänges einige Schwierigkeit, da man dasselbe nicht allein um den Mittelzapfen, sondern auch um den Motor herum führen muss. In dieser Beziehung zeigt das folgende Untergestell (Fig. 243) günstige Konstruktionen. In diesem unter dem Namen »Maximum traction truck« bekannt gewordenem Drehgestell liegt die Last excentrisch zu den vier Rädern. Zwei der Räder erhalten dabei nur soviel Druck, dass sie auf den Schienen bleiben, während die Hauptlast auf der anderen Achse liegt. Nach praktischen Erfahrungen kann man 80 % der Last auf die Treibräder, 20 % auf die Leiträder legen. Treibräder und Leiträder können einen verschiedenen Durchmesser haben und man giebt den ersteren den grösseren Durchmesser. Das Treibrad liegt nahe am Drehpunkt und wird daher nur eine geringe Winkelbewegung haben, während das Leitradpaar einen grösseren Bogen beschreiben kann. Bei dieser Anordnung kann das Gestell ziemlich niedrig gehalten und der Rahmen so kurz gemacht werden, wie bei den gewöhnlichen Strassenbahnwagen.

Da ein Mittelzapfen hier gänzlich fehlt, müssen die über den Spiralfedern liegenden Rollenträger die Führung und das Tragen

zugleich übernehmen. Die Unterbringung des Motors wird durch keinen Querträger behindert. Die Bremszugstange greift an einem Kreissegment mittels geeigneter Rolle an und beherrscht so das Bremsgestänge in jeder eingedrehten Stellung des Trucks.

Die den Motor tragende und vom Motor bewegte Achse erhält je nach der Verteilung der tragenden Gleitflächen den grösseren Adhäsionsdruck, während die Laufachse gering belastet ist. Als Nachteil dieser Konstruktion gilt die ungleiche Achsbelastung und der geringe Druck der kleinen Räder, welcher bei aufzuschneidenden Weichenzungen eine Entgleisung begünstigt.

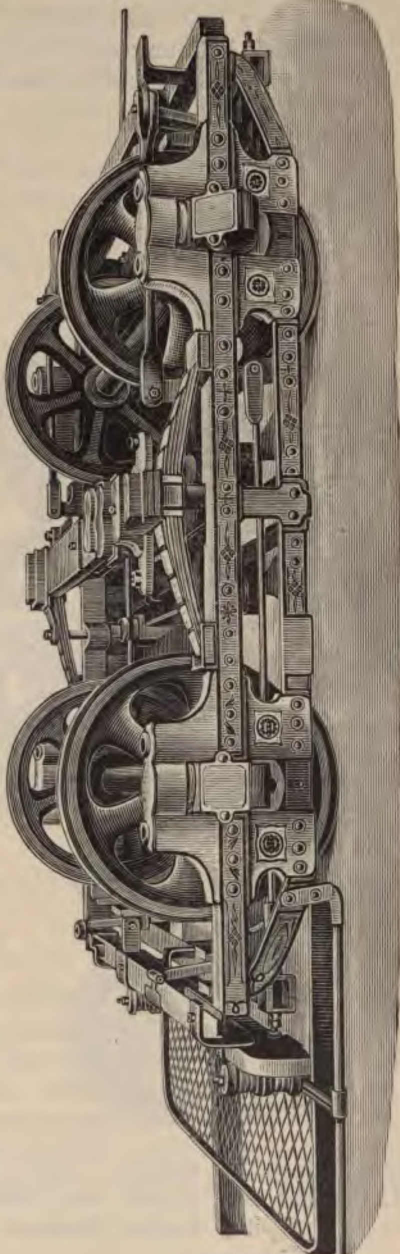


Fig. 242.

Achsen, Räder, Lager und Bremsklötze.

Das Achsenmaterial ist Tiegelgussstahl oder Martinstahl. Beide Stahlsorten eignen sich vortrefflich und sind ausschliesslich in Verwendung. Nach Bach sollen Eisenbahnachsen mindestens folgende Zahlen aufweisen:

a) Achsen aus Tiegelgussstahl

55 *kg* Bruchfestigkeit für 1 *qmm* Querschnitt,

20 % Dehnung (auf 200 *mm* Länge gemessen),

35 % Querschnittsverminderung.

b) Achsen aus Martinstahl
50 *kg* Bruchfestigkeit für 1 *qmm* Querschnitt,
20 % Dehnung (auf 200 *mm* Länge gemessen),
30 % Querschnittsverminderung.

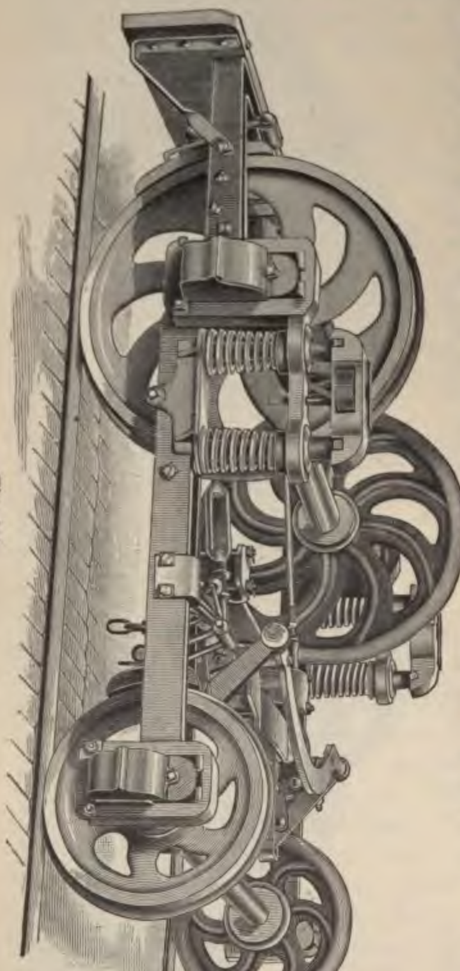


Fig. 243.

Für die Bestimmung der Qualität sind Festigkeit und Querschnittsverminderung (Zähigkeit) erforderlich, und zwar soll die Summe bei Tiegelgussstahl mindestens 95, bei Martinstahl mindestens 90 betragen.

Thatsächlich besitzt unser Achsenmaterial noch höhere Werte, sodass mit einer absoluten Festigkeit bis zu 60 *kg*, mit einer Dehnung von 25 % und einer Querschnittsverminderung von 55 % gerechnet werden kann.

Unter diesen Beanspruchungen berechnet sich der Durchmesser der Radachsen zu 90—110 *mm*. Da der Kräfteangriff durch die Aufhängung des Motors und durch das Dreh- und Biegungsmoment des Zahnradgetriebes die Achse in einer ungewöhnlichen Weise belastet, sei hier in grossen Zügen die Durchrechnung eines meterspurigen Radsatzes beigefügt.

Statische Berechnung der Achse eines zweiachsigen Wagens, wenn dieselbe in der durch Fig. 244 dargestellten Verteilung belastet ist mit:

1. Gewicht des Wagens ohne Räder und Achsen . . 3200 *kg*
2. » der beiden Motoren mit Übertragungsmechanismus . . . . 1800 »

3. Gewicht der Schalter, Stromabnehmer, Apparate . 200 *kg*
4. Nutzlast, bestehend aus 32 Personen (einschliesslich Führer und Schaffner) je 75 *kg* . . . . . 2400 »

ohne Achsen und Räder in Summa 7600 *kg*
d. h. ruhende Achsbelastung 3800 »

Zu dieser Belastung kommen die seitlichen Stösse hinzu, welche durch die Schwankungen, die Centrifugalkraft und den Winddruck entstehen. Nach Wöhler ist bei Hauptbahnen diese als Horizontal-

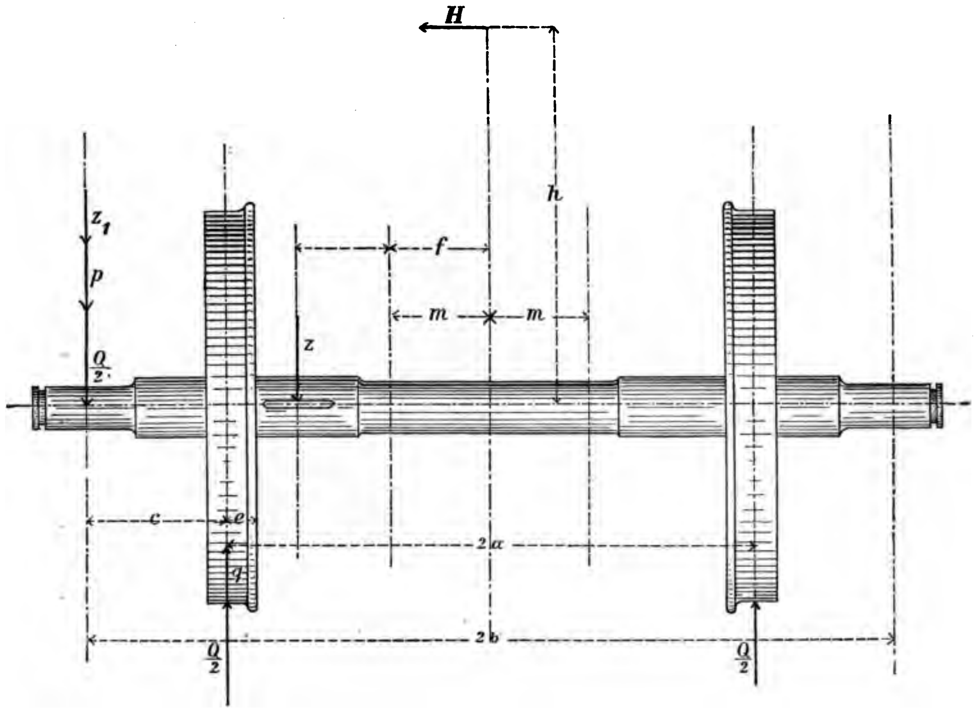


Fig. 244.

kraft auftretende Belastung = 0,386 der Vertikallast anzunehmen. In Anbetracht der kleinen Kurvenradien und der schlechteren Gleislage bei Strassenbahnen kann dieser Wert auch hier Geltung behalten, was mit den Beschlüssen der Techniker-Versammlung des Vereins deutscher Eisenbahnverwaltungen übereinstimmt.

H = 0,386 Q greift am Schwerpunkt des Wagens, welcher sich in der Entfernung h von der Achsmittellinie befindet, an und verursacht einen Lagerdruck $p = H \frac{h}{2b}$ und einen Raddruck $q = H \frac{h + r}{2a}$.

Da $Q = 3800$ *kg* ist, wird $H = 1467$ *kg*.

Wird $h = 750$ *mm*; $r = 390$ *mm*; $2a = 1050$ *mm*; $2b = 1600$ *mm* angenommen, so wird

$$p = 687{,}5\ kg;\ q = 1593\ kg.$$

Durch den Druck der Bremsbacken erfolgt eine weitere Belastung der Achse. An der Bremskurbel möge mit 50 *kg* gedreht werden. Die Übersetzung bis zum Backen sei 50 : 1; alsdann ist der Bremsdruck Br für jede Achse $50 \cdot 50 = 2500$ *kg*, für jedes Rad 1250 *kg* in horizontaler Richtung. Ist der Bremsklotz um 30^0 gegen die Horizontale geneigt, was geschieht, um den Wagen nicht aus der Lagerschale zu heben, so ist $Br = \frac{1250}{\cos 30^0} = \frac{1250}{0{,}866} = 1440$ *kg*. Das Biegungsmoment M_1 des Bremsdruckes ist demnach $1440\,(c + e) - 1440\,e = 1440\,c$ oder wenn $c = 275$ *mm* ist $M_1 = 1440 \cdot 275 = 396\,000$ *kg/mm* und wirkt unter 60^0 gegen die Vertikale. Durch die Reibung zwischen Bremsklotz und Rad wird ferner bei 1250 *kg* und 0,25 Reibungskoëffizient eine Bremskraft von $0{,}25 \cdot 1250 = 312{,}5$ *kg* erzeugt, für jeden Radsatz mithin $2 \times 312{,}5 = 625$ *kg*.

Die Rotation des Ankers übt bei der Bremsung einen Zahndruck von $625 \cdot \frac{390}{r_a}$ aus, d. h. wenn r_a = Halbmesser des Achsenzahnrades = 276 *mm* ist, $z = 625 \cdot \frac{390}{276} = 885$ *kg* auf das Ankertriebrad aus. Das Drehmoment kann vernachlässigt werden, jedoch wirkt der Vertikaldruck auf die Lagerschale, welche dem Zahnrad zunächst liegt und mit z_1 bezeichnet ist. Mit f ist die Entfernung der Zahnradmitte von der Achsmitte gegeben und ist, wie die anderen hier gewählten Masse, einer praktischen Ausführung entnommen.

$$z_1 = \frac{z \cdot (b + f)}{2b} = \frac{885 \cdot (800 + 385)}{1600} = 650\ kg.$$

Das Biegungsmoment für den gefährlichen Achsquerschnitt ist nunmehr:

$$M_2 = \left(\frac{Q}{2} + p + z_1\right)(c + e) - \left(\frac{Q}{2} + q\right) e.$$

Da $Q = 3800$ $\quad p = 687{,}5$, $q = 1593$ $\quad z_1 = 650$, $c = 275$ $\quad r = 390$ *mm* ist,

und wenn $e = 60$ *mm* angenommen werden kann, so ist

$$M_2 = \left(\frac{3800}{2} + 687{,}5 + 650\right)(275 + 60) - \left(\frac{3800}{2} + 1593\right) 60$$

$$= 3237{,}5 \cdot 335 - 3493 \cdot 60 = 1{,}284{,}552\ kg/mm.$$

Die unter 60° zu einander gerichteten Momente bilden das resultierende Moment M_3.

$$M_3 = \sqrt{M_1{}^2 + M_2{}^2 + 2\, M_1\, M_2 \cos 60^0}$$
$$= \sqrt{396000^2 + 1284552^2 + 2 \cdot 396000 \cdot 1284552 \cdot 0,5}$$
$$= 1000 \sqrt{396^2 + 1284552^2 + 2 \cdot 396 \cdot 1284552 \cdot 0,5}$$
$$= 1000 \sqrt{156816 + 1650074 + 508683}$$
$$= 1000 \sqrt{2315573} = 1530000 \; kg/mm$$

Die Spannung im gefährlichen Querschnitt soll z. B. nach den Vorschriften der preussischen Staatsbahnen für Güterwagenachsen eine Beanspruchung von 14,5 *kg/qmm* nicht überschreiten, sodass sich hier ein Durchmesser der Achse von

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_3}{\pi \cdot S}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 1530000}{3{,}1416 \cdot 14{,}5}} = \sqrt[3]{1075000} = 102{,}5 \; mm$$

ergiebt.

Zwischen den Rädern ist die Achse durch die Auflagerpunkte des Motors belastet. Wenn $2\,m = 395\; mm$ ist, so ergiebt sich analog obiger Momentengleichung für den gefährlichen Querschnitt

$$M_4 = \left(\frac{Q}{2} + p + z_1\right)(b - m) - \left(\frac{Q}{2} + q\right)(a - m) =$$
$$= \left(\frac{3800}{2} + 687{,}5 + 650\right)(800 - 197{,}5) - \left(\frac{3800}{2} + 1593\right)$$
$$(525 - 197{,}5)$$
$$= 3237{,}5 \cdot 602{,}5 - 3493 \cdot 327{,}5 = 1950593{,}75 - 1243957{,}5 =$$
$$M_4 = 706636{,}25.$$

Das Moment des Bremsdruckes wird hier:

$$= 1440\,(b - m) - 1440\,(a - m)$$
$$= 1440 b - 1440 m - 1440 a + 1440 m = 1440\,(b - a) = 1440 \cdot 275$$
$$M_5 = 396000 \; kg/mm.$$

Das resultierende Moment M_6 wird demnach:

$$M_6 = 1000 \sqrt{396^2 + 706^2 + 2 \cdot 396 \cdot 706 \cdot 0{,}5} = 1000 \sqrt{934828}$$
$$M_6 = 967000 \; kg/mm.$$

Der Durchmesser der Achse zwischen den beiden Rädern ergiebt sich demnach bei Meterspur zu:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 967000}{3{,}1416 \cdot 14{,}5}} = \sqrt[3]{680000} = 88 \; mm$$

Mit Rücksicht auf einzudrehende Nuten für die seitliche Lagerführung und für Herstellung der Keillängsnuten ist diese günstigere

Beanspruchung in der Mitte sehr erwünscht, wobei vorausgesetzt wird, dass man die Achse von vornherein in der Mitte ebenso stark macht wie an den Achsschenkeln.

Auf die Achsen werden die Räder mit hydraulischem Druck aufgepresst.

Die Radreifen werden warm auf die Radkörper aufgezogen und ihre Befestigung häufig noch durch eingezwängte Springringe oder Schrauben gesichert.

Der Spurkranz befindet sich meist an der Innenseite des Rades, wie dies Fig. 245 darstellt.

Die guten Eigenschaften, welche das Rad mit doppeltem Laufkranz besitzt, sind bisher noch nicht genügend berücksichtigt worden.

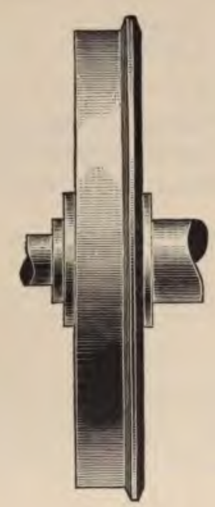


Fig. 245.

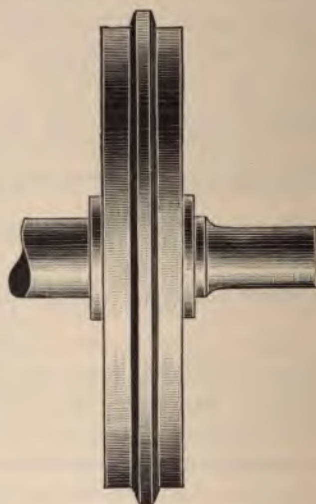


Fig. 246.

Die einzige Bahn, welche mit derartigen Rädern versehen ist, ist die Budapester Stadtbahn, bekanntlich eine Strassenbahn mit unterirdischer Stromzuführung in der inneren Stadt. Der Grund zur Anwendung dieses Rades, welches durch Fig. 246 dargestellt ist, wurde bedingt durch Festigkeitsgründe der Kanalkonstruktion beim Durchfahren von Weichen und schiefen Kreuzungen des auf den unterirdischen Kanalböcken gelagerten Gleises. Die Bewährung des Rades mit Doppellaufkranz in Budapest legt die Frage nahe, ob dieses Rad nicht noch weitere gute Eigenschaften besitzt. Herstellungsschwierigkeiten und Unterhaltungserschwernisse werden durch diese Form der Radbandage nicht hervorgerufen.

Diese Bandagen sind ohne weiteres geeignet, auf jedem Schienensysteme (Rillenschiene, Zwillingsschiene) zu fahren. Bei allgemeiner Einführung würde es sich jedoch empfehlen, die Schienenprofile etwas abzuändern, damit die Materialausnutzung der Schiene eine rationellere wird.

Durch dieses Rad gelangt die Zwillingsschiene zu ganz besonderem Ansehen, da die Überbrückung des Schienenstosses äusserst günstig durchgebildet werden kann. Die einzelnen Schienen können einander bis zu ihrer halben Länge überdecken, wodurch dem Rade ein vollkommen stossfreies Überfahren der Stossverbindungen gesichert wird.

Ferner können mit dem Doppelkranzrad Weichenherzstücke und schiefe Kreuzungsherzstücke stossfrei überfahren werden, weil der eine Radkranz noch die eine Lauffläche berührt, während der andere sich über dem Einschnitt befindet, und umgekehrt. Dieselbe Rolle, die heute beim Herzstück dem Spurkranz zufällt, wird nunmehr zweckentsprechender dem zweiten Laufkranz übertragen.

Die Achsschenkel lagern in den Lagerbuchsen auf bronzenen Schalen, welche den Schenkel nur mit ca. $^1/_6$ umfassen. Für reichliche Ölzuführung ist durch Schmierpolster Sorge zu tragen. Die Ausbildung der Buchsen gleicht derjenigen an den Staatseisenbahnen. Fettschmierung wendet man an dieser Stelle selten an.



Fig. 247.

Die grossen Erfolge, welche die Kugellager an den Fahrrädern aufzuweisen haben, drängen dem Konstrukteur für elektrische Bahnwagen die Frage auf, warum Kugellager oder diesem ähnliche Lager, die Rollenlager, nicht schon längst bei elektrischen Bahnwagen Verwendung gefunden haben. Zieht man in Betracht, dass bei Kugel- und Rollenlagern die gleitende Reibung in rollende Reibung verwandelt ist und dass fast gar kein Druck zwischen den in entgegengesetzter Drehung aneinander vorbeirollenden Kugeln auftritt, zieht man ferner die Belastungen der einzelnen unter Druck stehenden Walzen oder Kugelreihen in Betracht, so wird man zu dem Resultat kommen, das beiden Konstruktionen eine Existenzberechtigung auch für elektrische Bahnen zuweist.

Durch Fig. 247 ist schematisch die Wirkung eines Kugellagers dargestellt. Die Kugeln a b stehen unter Druck, während die Kugeln e f vollständig entlastet sind. c, d, h und g sind unter alleiniger Berücksichtigung des Vertikaldruckes fast ohne Belastung. Die horizontale Beanspruchung beim Bremsen und Antreiben wird je nach der Richtung von den Kugeln c d oder h g aufgenommen.

Was von den Kugeln gilt, ist in gleichem Masse auch für Walzen bezw. Rollen massgebend. Die Berührung in einem Punkte oder einer Linie erfordert gehärtete Materialien. In die Lager gelangender Staub und Schmutz kann naturgemäss niemals eine ausschmirgelnde Wirkung zwischen den arbeitenden Oberflächen ausüben und wird von den spezifisch höhere Festigkeit besitzenden Materialien zermahlen.

Über Anwendung eines Kugellagers bei Achsschenkeln oder Motorlagern sind Resultate aus dem Betriebe noch nicht bekannt, dagegen sind Rollenlager in Amerika für schwere Walzwerke in jahrelangem Betriebe gewesen und haben dort die günstigsten Resultate geliefert. Die an Stelle der gewöhnlichen Lagerschalen zwischen Achsschenkeln und Achsbüchse einzulegenden Lagergleitstücke bestehen hier aus drei konzentrischen Hülsen, deren innere direkt auf dem Achsschenkel befestigt ist, und deren äussere unverrückbar mit dem Lagerkasten in Verbindung steht. Die Mittelhülse enthält den in Fig. 248 dargestellten gitterförmigen Walzenträger mit eingelegten Walzen. Die drei ineinandergeschobenen Hülsen nehmen keinen sehr viel grösseren Raum ein als die heutigen Lagerschalen, wie dies Fig. 249 zeigt. Ein ganz besonderer Vorteil der Anordnung von rings um die Achse gehenden Walzenlagern besteht darin, dass man sehr intensiv wirkende Bremsen benutzen kann, ohne fürchten zu müssen, dass durch den Bremsdruck die Achse seitlich aus dem Lager gedrückt wird, wie es bei den üblichen Bronzelagerschalen-Segmenten der Fall ist. Die Rollen sowie die äussere und innere Hülse bestehen aus hartem Stahl.



Fig. 248.

Ein Satz solcher Lager wurde in einem offenen Wagen der Interstate Consolidated Street Railway Company, welcher zwischen Pawtucket und Attleboro lief, eingebaut und ist ständig in Gebrauch geblieben.

Der spezifische Druck von 1500 *kg* auf 1 *qcm* projizierter Oberfläche, welcher bei schweren Walzenzugmaschinen gebraucht wird, ist für die Verhältnisse von Strassenbahnwagen unnötig hoch, umsomehr berechtigt dies zur Annahme, dass das Walzenlager eine

bedeutende Dauerhaftigkeit am Eisenbahnwagen besitzen kann. In folgendem sind die Resultate eines in Amerika gemachten Versuches an einem Untergestelle, welches mit zwei Motoren ausgerüstet war, niedergelegt. Der eine Motor wurde mit den gewöhnlichen Lagern versehen, der zweite mit Rollenlagern, die Achse, mit welcher der Antrieb dieses letzteren Motors verbunden war, war ebenfalls mit Rollenlagern versehen, während die andere Achse wieder die gewöhnlichen Lager besass; das Untergestell wurde aufgehängt, sodass die Räder in der Luft schwebten. Die Räder wurden durch eine Bremse belastet, das Gewicht des Wagens sowie der Motoren wurde durch Hebelgewichte erzeugt, sodass alle Lager ebenso belastet wurden, als wenn der Wagen sich in Betrieb befunden hätte. Die Motoren wurden alsdann angelassen und zeigten folgende Verhältnisse:

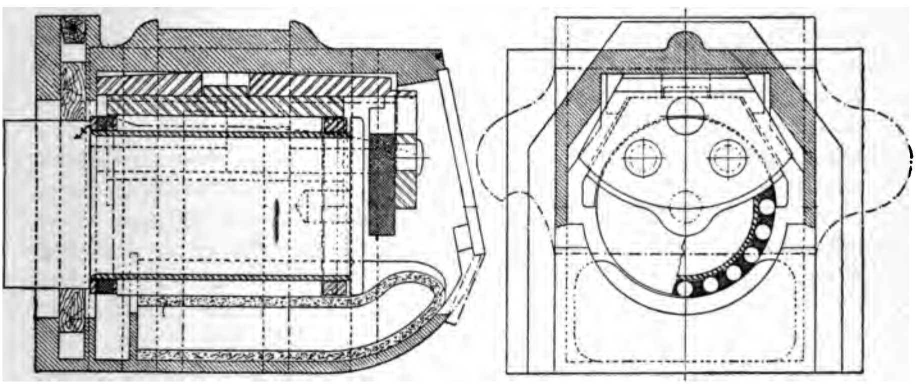


Fig. 249.

Versuch A.

Gewicht	1800 *kg*
Erforderliche Kraft zum Anlassen der Motoren am Hebelarm 42 *mm*	
bei Motor Nr. 1	120 »
» » » 2	10 » (!)

Versuch B.

Elektrische Kraftprobe mit Motor	Nr. 1.	Nr. 2
Dauer des Versuches in Minuten	2	2
Wattstundenverbrauch	198	112
Zurückgelegte Entfernung in *m*	1000	1600
1 *km* wurde zurückgelegt in Sekunden . . .	120	75
Belastung in Kilogramm	2100	2100
Drehungsdauer nach Beendigung des Versuches bezw. nach Entlastung der Räder in Sekunden	12	102

Die in dem Versuche B gegebenen Zahlen sind das Mittel mehrerer Ablesungen. Die Verhältnisse bei beiden Motoren waren genau dieselben nur mit der Ausnahme, dass der Motor Nr. 1 und dessen Antriebachse mit gewöhnlichen Lagern versehen waren, während der Motor Nr. 2 und dessen zugehörige Achse mit Rollenlagern ausgerüstet war.

Obgleich aus diesen Versuchen nicht absolute Resultate für die Praxis gezogen werden können, so erhellt doch wenigstens aus ihnen, dass mit der beschriebenen Neuerung eine ganz beträchtliche Kraftersparnis erhofft werden kann.

In Verbesserungen der Lager wird die nächste Zeit wohl manche brauchbare Konstruktion liefern müssen, da die heutigen Ausführungen noch manches zu wünschen übrig lassen. Vor allem sind es die Schmiervorrichtungen, welche einer Besserung bedürfen, um einmal eine geringere Wartung des Lagers zu erlangen und zweitens einen geringeren Ölverlust zu erreichen. In dieser Beziehung bietet das bei den ungarischen Staatsbahnen eingeführte Korbuly-Lager neuester Konstruktion recht bemerkenswerte Grundlagen, die auch auf die Kleinbahnverhältnisse übertragen worden sind. So z. B. befinden sich diese Lager bei der Budapester Strassenbahn und Stadtbahn im Betriebe. Dieser Konstruktion liegt der Gedanke zu Grunde, ohne jede Schmiervorrichtung das Schmieröl direkt zu dem Achsschenkel gelangen zu lassen, was dadurch erreicht wird, dass der Achsschenkel samt Lagerschale vollständig von Öl umgeben ist. Die Abdichtungen nach aussen sind daher vollständig staub- und ölsicher erfolgt. Die durchlöcherte Lagerschale umfasst mit 1 *mm* Luftzwischenraum den ganzen Achsschenkel, was den unleugbaren Vorteil besitzt, dass das Schmiermaterial nicht von dem üblichen Lagenschalen-Segment am Schenkel abgestreift werden kann. Man kann als Vorteile des Korbuly-Lagers bezeichnen: Grosse Auflagefläche der Lagerschalen, vollständig gute und lange verlässlich bleibende Schmierung, Ersparnis am Schmiermaterial, minimale Abnützung der Lagerschalen und Verminderung des Heisslaufens. Eine eingehende Beschreibung dieses Lagers ist in der »Österreichischen Eisenbahnzeitung« vom 1. November 1896 enthalten.

Die Bremsklötze sollen aus weichem Material (Gusseisen) bestehen, damit sie die meist aus Tiegelgussstahl bestehenden Bandagen nicht angreifen. Aus Gründen der Billigkeit fertigt man die Schleifflächen besonders an und befestigt sie an den eigentlichen Bremsklotz mittels Nasen, Schrauben, Keilen u. s. w.

d) Bremsen.

Die mechanischen Bremsen können zweifacher Art sein:

1. Backenbremsen, die an den Radbandagen wirken und mittels Hebel, Ketten, Zugstangen, Bremswellen bethätigt werden.

2. Schlittenbremsen, welche an den Laufschienen wirken und durch Kniehebel, Ketten, Zugstangen, Bremswellen bethätigt werden.

Die unter 1. genannten Bremsen erfordern bei den bekannten grossen Kräften ein sehr starkes Gestänge und Gehänge und beanspruchen das Untergestell in erhöhtem Masse gegenüber solchen Gefährten, die nicht von annähernd solch' grossem Gewichte behaftet sind.

Die unter 2. genannten Schienenbremsen zeigen durchweg den Mangel, dass sie den Wagen gewissermassen aus den Schienen heben, indem die Gesamtlast auf den Schlitten übertragen werden muss, um annähernd das vorhandene Adhäsionsgewicht auszunutzen.



Fig. 250.

Sofern die Schlittenbremse nicht mit Keilwirkung versehen ist, ist eine intensivere Bremskraft mit ihr nicht zu erzielen, da der Reibungswiderstand zwischen Schlitten und Schiene derselbe bleibt, als wenn die Räder selbst den vollen Druck behalten. Mit Vorteil ist die Reibungsschienenbremse nur anzuwenden, wenn es gilt Radbandagen zu schonen, d. h. wenn vorauszusehen ist, dass die Räder oft fest gebremst werden und alsdann nur mit der kleinen Berührungsfläche auf der Schiene schleifen. Die Räder würden alsdann ihre runde Form verlieren.

Wenn man das Prinzip der Schlittenbremsen umdreht, sodass diese den Wagen nicht von den Schienen abheben, sondern ihn eher fester auf die Schienen andrücken, so erreicht man eine wesentlich günstigere Wirkung. Letzteres ist natürlich nur durch magnetisches

Ansaugen an die Schienen zu erreichen. Zur Bethätigung mechanischer Bremsen durch den Wagenführer wendet man Bremskurbeln mit horizontaler Bremsspindel an, oder Wurfhebel mit vertikaler Bewegungsebene. Eine Bremsspindel erster Art stellt Fig. 244 dar. Der Bremsgriff ist hier mit einer der Bohrknarre ähnlichen Vorrichtung versehen, welche den Zweck hat, den Kurbelgriff stets so einzustellen, dass er dem Bremser, bezw. Wagenführer stets die günstigste Stellung für das Bremsen ermöglicht.

Die mechanischen Bremsen werden zweckmässig neuerdings durch motorische oder magnetische Bremsen ersetzt.

Legt man nämlich die von Professor Franz Ritter von Rziha berechnete Durchschnittsleistung eines Arbeiters[1]) zu Grunde, so ergiebt die Beanspruchung des Wagenführers bei Verwendung der Handbremse unter den bei elektrisch betriebenen Zügen (Motor- und Anhängewagen) herrschenden Verhältnissen und bei wechselndem Gelände eine grössere Sekundenleistung als 6,3 *mkg* und damit eine Überlastung desselben.

Das Bestreben, solche Bremsen zu besitzen, die unabhängig von der menschlichen Kraftanstrengung sind, macht sich bei den elektrischen Bahnen in um so höherem Masse bemerkbar, als wir hier schon allein für die Fortbewegung der Wagen die grösstmöglichste Adhäsion ausnutzen, und mit Rücksicht hierauf die Steigungs- und Gefällsverhältnisse der Bahn anlegen. Es ist bekannt, dass für die Bremsung eines Zuges die Adhäsion in viel grösserem Masse ausgenutzt werden muss, als für die Fortbewegung, d. h. ausser den Lokomotivachsen müssen auch Wagenachsen gebremst werden. Dieses bei elektrisch betriebenen Wagen, deren sämtliche Achsen stets angetrieben sind, zu verlangen, ist ohne weiteres einfach unmöglich. Sobald man die Gefälle bis zur Adhäsionsgrenze anlegt, kommt nicht die Frage zuerst in Betracht, ob es möglich ist, die besagten Steigungen mittels Adhäsion zu befahren, sondern ob es möglich ist, das Gefälle gefahrlos »hinunterzurutschen«. Man kann wohl zwischen den Bremsbacken und dem Rade jede beliebige Reibung erzeugen, zumal wenn ausser der menschlichen Muskelkraft mit den nötigen Übersetzungsverhältnissen irgend eine mechanische Kraft als Bremsdruck zur Verfügung steht; aber man kann die Reibung zwischen Rad und Schiene nicht vermehren, wenn man von der höchst problematischen Sandstreuung absieht. Die Reibung ist abhängig von dem Drucke und der Beschaffenheit der reibenden Flächen, aber unabhängig von der Grösse der Flächen, mithin wirkt auch eine sogenannte Schlittenbremse mit ihrer grösseren Fläche nicht zur Vermehrung der Reibung. Vor

[1]) Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure. Jahrgang 1894. Nr. 21, S. 645.

einigen Jahren tauchte die amerikanische Nachricht auf, dass der blosse Stromdurchgang zwischen zwei sich berührenden Flächen einen grösseren Reibungskoëffizienten zwischen diesen Flächen hervorrufe. Diesbezügliche Versuche haben aber diese Behauptungen nicht nur nicht bestätigt, sondern sogar gegenteilig bewiesen, dass bei einer die Kontaktfläche überlastenden Stromstärke die Reibung eine geringere ist, und wahrscheinlich deswegen, weil das Metall an den Berührungsstellen heiss wurde und sogar schmolz, wodurch die Materialien weich wurden.

Die Veränderung der reibenden Flächen durch dünn aufgestreuten Sand zwischen Rad und Schiene bewirkt nun allerdings eine grössere Reibung, welche man aber ebensogut für die Bergfahrt als für die Thalfahrt benutzen kann, und welche somit nicht nur für die Bremsung spezifisch ist.

Wenn mittels der Bremsbacken das Rad in Stillstand gesetzt worden ist, so ist die rollende Reibung zwischen Rad und Schiene in gleitende verwandelt, weil die Reibung zwischen Radumfang und Bremsklotz grösser ist als zwischen Radumfang und Schiene. Die lebendige Kraft des Wagens kann durch die gleitende Reibung des Rades noch nicht auf Null gebracht werden. Der Wagen gleitet, was bei Strassenbahnen noch durch den auf den Schienen befindlichen Schmutz begünstigt wird. Die Reibung der Ruhe ist grösser, als die Reibung der Bewegung, darum soll man bestrebt sein, die Räder während der rollenden Reibung zur Bremsung auszunutzen. Beim Abrollen zweier Flächen sind dieselben gegeneinander in Ruhe, beim Gleiten jedoch in Bewegung. Von diesem Standpunkte aus betrachtet, sind die Schlittenbremsen ohne Keilwirkung unvorteilhaft.

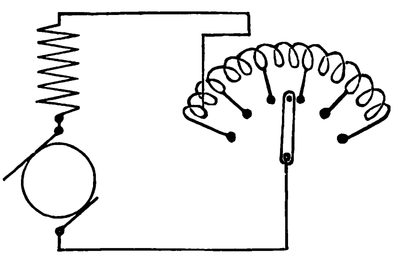


Fig. 251.

Wenn man es nun erreichen kann, dass die Reibung zwischen dem Radumfang einerseits und dem Bremsklotz bezw. der Schiene andererseits gleichmässig regulierbar ist, so müsste man den idealen Zustand erreichen können, dass das Rad sich eben noch an der Schiene abwälzt, während es schon gegen den Bremsklotz keine Bewegung mehr hat.

Zu den motorischen Bremsen sind diejenigen zu rechnen, welche mit Kurzschluss des Motors (Fig. 251) oder mit Gegenstrom im Motor die Triebachse festhalten oder rückwärts drehen. Diese Art der Beanspruchung des Wagenmotors hat eine hohe Erwärmung während der Bremszeit zur Folge. Die Anlasswiderstände des Motors allein

genügen nicht, um den erzeugten Strom bei unschädlicher Spannung in unschädliche Wärmearbeit umzuwandeln, sodass man für die Bremsung besondere und grössere Widerstände vorsehen muss, für welche im Wagen selten Platz vorhanden ist. Ferner soll man dem Motor nicht zumuten, dass er die ganze lebendige Kraft des Wagens, welche beim Anfahren erst ganz allmählich beschleunigt wird, beim Bremsen in wenigen Metern aufzehrt. Solcher Beanspruchung ist selbst der Motor nicht gewachsen, der imstande wäre, die volle Adhäsion zwischen Rad und Schiene in jeder Zeit zu bewältigen, d. h. ein Motor, der das Rad zum Rutschen bringt, ohne übermässige Erwärmung zu zeigen und in seinem Nutzeffekt allzusehr zu sinken. Man hat sich, wenn zwei Motoren im Wagen vorhanden sind, dadurch zu helfen versucht, dieselben gegeneinander zu schalten, um

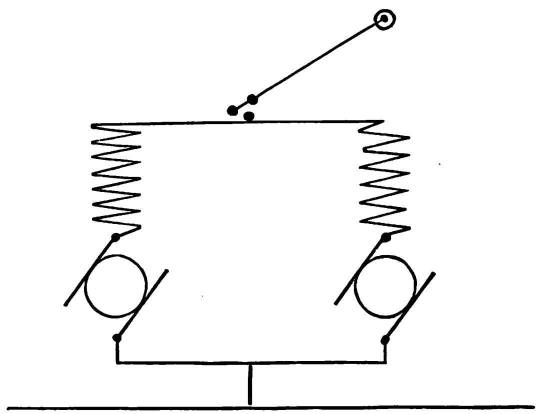


Fig. 252.

in dem Widerstande der elektromotorischen Gegenkraft mit den einfachsten Mitteln einen, der Bremsarbeit entsprechenden hohen Widerstand vorzuschalten. (Fig. 252.) Es sind auch fernerhin Schaltungen gewählt worden, in denen der Anker des einen Motors auf die Schenkel des anderen und umgekehrt arbeiteten, wodurch eine ähnliche Wirkung erzielt wird, wie bei Hintereinanderschaltung beider Anker und Schenkel. Aber auch diese Schaltung hat sich nicht bewährt und findet nur noch vereinzelt Anwendung. Nebenschlussmotoren haben den grossen Vorzug, die Bremsarbeit in Nutzarbeit zu verwandeln, indem dieselben Strom von stets gleicher Spannung in das Netz schicken können und in dieser Thätigkeit den Wirkungen einer Dynamomaschine entsprechen. Als weiter vorgeschlagene Motorbremsen können diejenigen angesehen werden, welche auf die Bremsklötze einwirken und so die Arbeit des Führers in Motorarbeit ver-

wandeln; indessen zeigen diese Bremskonstruktionen denselben Nachteil wie kräftige Handbremsen, da die Gestänge und Bremsklötze einer grossen Abnutzung unterliegen und Reparaturkosten erfordern. Diesen Übelständen helfen die magnetischen Bremsen vollständig ab. Ihre Einfachheit in der Konstruktion, in der Anbringung auf den Bremsachsen und die Sicherheit in ihrer Funktionierung machen sie zu schätzungswerten Bremsen. Prinzipiell beruhen die sämtlichen heute im Betrieb befindlichen magnetischen Bremsen auf ein und derselben Wirkungsweise, welche darin besteht, dass eine, die Entstehung von Wirbelströmen begünstigende Eisenscheibe vor einem durch Gleichstrom erregten Wechselmagnetfelde vorbeigeführt wird, sodass die gegenseitige Wirkung zwischen dem ruhenden Magnetfelde und dem durch Foucaultströme erzeugten Magnetfelde eine hemmende Wirkung der aneinander vorbeibewegten Massen im Gefolge haben. Die Erzeugung des Wechselmagnetfeldes erfolgt durch Gleichstromerregung, wie Fig. 253 zeigt. Der hierzu erforderliche Erregerstrom wird von dem Motor erzeugt und kann durch die sonst üblichen Anlasswiderstände abgestuft werden. Die elektromotorische Gegenkraft zwischen den beiden Bremsmagneten ist hier in ähnlicher Grösse vorhanden, wie bei gegengeschalteten Motoren, sodass diese Bremse als ein die Bewegung hemmender Motor angesehen werden kann. Für die Fortbewegung der gebremsten Achse ist dieser Bremsmotor jedoch nicht zu gebrauchen. Die erste Idee zur Konstruktion derartiger magnetischer Wirbelstrombremsen rührt von Sperry her und beruht darauf, dass der Erregerstrom vom Wagenmotor erzeugt wird. Will man Wagen, deren jede Achse mit einem Motor versehen ist, auf diese Art bremsen, so müssen neben dem Motor auf den Achsen diese Bremsen angebracht sein. Dagegen genügt es bei Wagen mit **einem** Motor bezw. mit **einer** angetriebenen Achse auf die andere Achse den Bremsmotor zu setzen, wobei die angetriebene Achse, deren Motor als Dynamo arbeitet, ebensoviel gebremst wird, als die mit dem Bremsmotor versehene Achse. Kommen nun noch Anhänge-

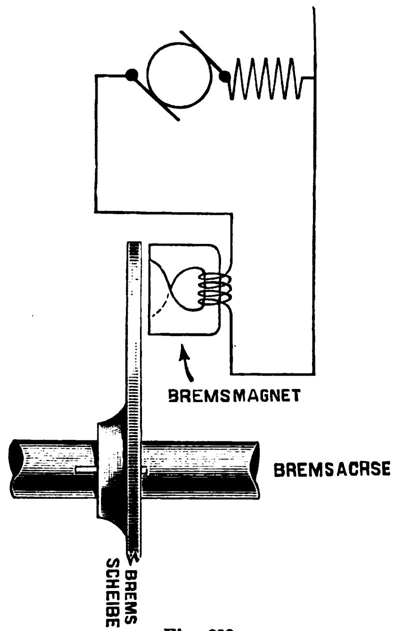


Fig. 253.

wagen in Betracht, so sind auch die Anhängewagenachsen mit Bremsmotoren zu versehen, welche durch den oder die Wagenmotoren ebenfalls erregt werden. Je grösser das Verhältnis zwischen Bremsachsen und Motorachsen ist, um so grösser ist die bremsende Wirkung gegenüber der beschleunigenden Wirkung; man kann also mit demselben Arbeitsverbrauch für die Beschleunigung eine dem Verhältnis der Achsen entsprechende schnellere Bremswirkung erzielen, ohne mit einer grösseren Motorbeanspruchung rechnen zu müssen. Die hier besprochene Anordnung schliesst jedoch nicht aus, dass auch mit dem Netzstrom der Bremsmotor erregt werden kann, sodass den Wagenmotoren für die Dauer der Bremsung Ruhe gegönnt werden kann, was bei sonst übermässiger Anstrengung des Motors keinesfalls von Schaden sein kann.

Man kann die Unterscheidung machen zwischen denjenigen Bremsen, deren Wirksamkeit auf der Anziehung bewegter Magnetpole und

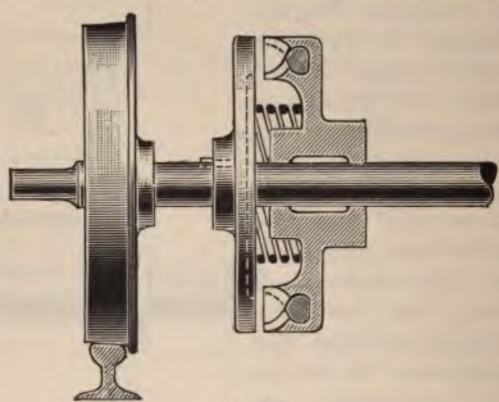


Fig. 254.

dementsprechender Friktionsvermehrung der reibenden Flächen beruht, und denen, welche nur den reinen magnetischen Widerstand gegeneinander zur Bremswirkung ausnützen. Welcher Wirkungsart der Vorzug gebührt, muss die Praxis noch zeigen. Es scheint das Rationellste zu sein, gar keine Abnutzungsflächen zu haben. Voraussetzung ist hierfür allerdings, dass die Magnetfelder sehr stark erregt werden. Befestigt man eine gusseiserne Scheibe von einem etwa 20 *cm* geringerem Durchmesser als das Laufrad sowohl gegen Drehung als gegen Verschiebung auf der Achse und ordnet seitlich dieser glatt abgedrehten Scheibe einen Magnetpolkranz so an, wie etwa durch Fig. 254 dargestellt ist, so ist es erforderlich, um starke Friktion zwischen der Bremsscheibe und den Magnetpolen, welche in ihrer Polarität abwechselnd sind, zu vergrössern, den Luftwider-

stand zwischen den Magnetpolen und der Scheibe auf Null zu verringern, wodurch bedingt wird, dass das Magnetsystem der Scheibe genähert und entfernt werden muss. Die Näherung erfolgt durch den entstehenden Magnetismus selbst, während die Wiederentfernung nach Abschalten des Bremsstromes selbstthätig durch eine Feder erfolgen kann. Der Magnetismus, welcher zunächst den Luftwiderstand und den Federdruck überwinden muss, um die Pole an die Bremsscheibe zu bringen, muss eine gewisse Höhe erreicht haben und wirkt nach Überwindung dieser Widerstände plötzlich sehr stark auf die Eisenscheibe, sodass ein Ruck in der Bremswirkung erfolgt. Die Abstufung des Magnetismus durch den Vorschaltwiderstand kann hierin wenig ändern, es liegt daher nahe, diesen Luftwiderstand ganz zu vermeiden, indem man die Bremsscheiben stets an den Polflächen schleifen lässt, was ohne Bedeutung für die Abnutzung und für etwaigen nutzlosen Arbeitsverbrauch ist. Eine Schmierung der

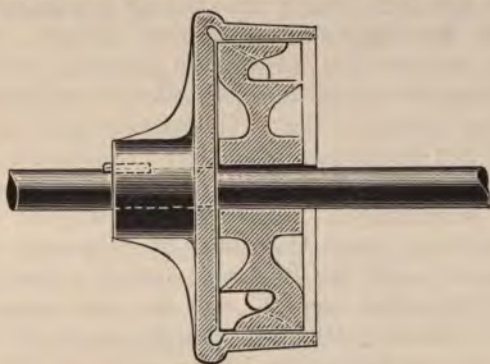


Fig. 255.

beiden Flächen verhindert schliesslich jede schädliche Wärmeentwickelung beim Leerlauf. Die Flächenwirkung kommt bei der Bremsung weniger in Betracht, als der magnetische und elektrische Widerstand in der durch Wirbelströme erregten Eisenscheibe. Um nun schliesslich zu verhindern, dass etwaiger remanenter Magnetismus eine unbeabsichtigte merkbare Bremsung bewirken kann, empfiehlt es sich, die Bremsscheibe in einen Bremscylinder zu verwandeln, dessen innere Fläche mit unendlich kleinem Spielraum die Aussenfläche der Pole umschliesst. Bei dieser Anordnung wäre eine Flächenwirkung völlig ausgeschlossen, sodass nur noch die gegenseitige Einwirkung der Magnetfelder wirken kann. Fig. 255 zeigt diese Anordnung schematisch. Keine dieser angeführten magnetischen Bremsen kann den Wagen bis zum Stillstand bremsen, sondern wirkt nur so lange, als eine Bewegung des Wagens vorhanden ist und diese

Bewegung noch genügend gross ist, um die Intensität des Wirbelstrommagnetfeldes kräftig zu halten. Wenn es trotzdem den Anschein hat, als ob diese Eigenschaft den Bremsen anhaftete, so ist das ein Trugschluss, welcher dadurch begünstigt wird, dass die innere Reibung im Wagen (Zahnräder, Reibung, rollende Reibung, Luftwiderstand u. s. w.) den Wagen thatsächlich zum Stehen bringt. Sobald aber der Wagen z. B. in einem Gefälle von 1 : 80 nur mit Hilfe magnetischer Bremsen zum Stillstand gebracht werden soll, zeigt es sich, dass gerade dieses Gefälle hinreicht, um den Wagen bei einer spezifischen Zugkraft von ca. 12 *kg* für die Tonne in Bewegung zu erhalten. In der Horizontalen wird die innere Reibung den Wagen in einer gewissen Strecke zum Stillstand bringen und in der Steigung um die vermehrte Hebungsarbeit entsprechend schneller abbremsen. Man sieht also, dass man die magnetischen Bremsen ohne die bisher üblichen Backenbremsen mit Handspindel nicht verwenden kann, da immer eine gewisse Bewegung des Wagens die Wirksamkeit der magnetischen Bremse bedingt. Die magnetischen Bremsen können nur die Schwungmassen vermindern und bieten den bisherigen elektrischen Bremsarten gegenüber eine einfache und billige Lösung. Die Handbremsen ganz zu erübrigen, dürfte sich, zur Zeit wenigstens, noch nicht empfehlen. Es ist auch kein Fehler, dass die als Notbremse immer noch bedingte Backenbremsung bei jedesmaligem Stillsetzen des Wagens in Gebrauch kommt und dadurch in jedem Augenblick betriebssicher und betriebsfertig ist, während sonst der Übelstand besteht, dass sie im Falle der Not ihre Wirksamkeit versagt, weil sie nicht immer wieder auf die Probe ihrer Leistungsfähigkeit gestellt wird. Dies geschieht jedoch, wenn der Backenbremse immer noch ein Teil der täglich gewöhnten Arbeit übertragen bleibt und andererseits der Führer nicht aus der Gewohnheit kommt, dieselbe zu benutzen.

Die Anwendbarkeit magnetischer Bremsen stellt sich also so dar, dass man diesen die erste Hauptarbeit der Bremsung überträgt und den Führer den letzten Rest der in Bewegung befindlichen Wagenmassen mit der Spindelbremse abbremsen lässt.

Wird man vor die Aufgabe gestellt, die Rentabilität einer magnetischen Bremseinrichtung zu erbringen, so stellt sich betreffs der Motorwagen die Anschaffung dieser Bremsen als absolut notwendig und schon damit als stets rentabel heraus. Für die Anhängewagen bleibt zu erwägen, ob diese täglich oder nur an besonders verkehrsreichen Tagen dem Motorwagen angehängt werden. Eine magnetische Bremse für zwei Anhängewagenachsen kostet rund 1000 Mark. Rechnet man für Zinsen, Amortisation und Unterhaltung 12 %, so betragen die Betriebskosten im Jahre 120 Mark. Werden die An-

hängewagen z. B. nur an 50 Tagen im Jahre benutzt, und sind dieselben alsdann nur mit den üblichen Spindelbremsen ausgerüstet, so stellt sich die Bedienung derselben durch besondere Bremser, welche 2 Mark Lohn für den Tag erhalten, auf 50 × 2 = 100 Mark.

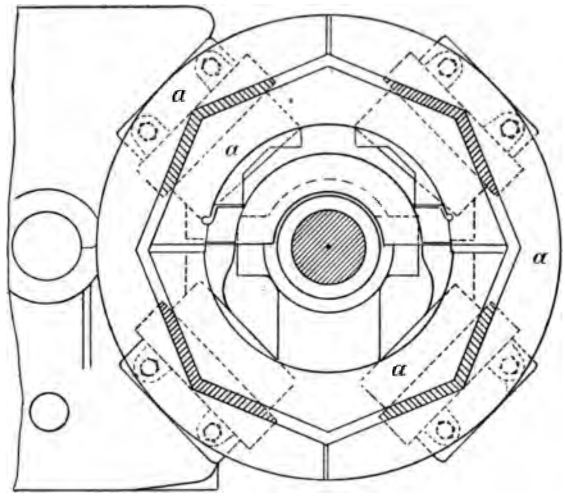


Fig. 256.

Hierzu kommt die Unterhaltung der Kurbelbremsen und Bremsklötze, welche mit 20 Mark nicht zu hoch anzusetzen ist. Es ergiebt sich also, dass selbst bei seltenem Gebrauch der Anhängewagen die magnetischen Bremsen rentabel sind.

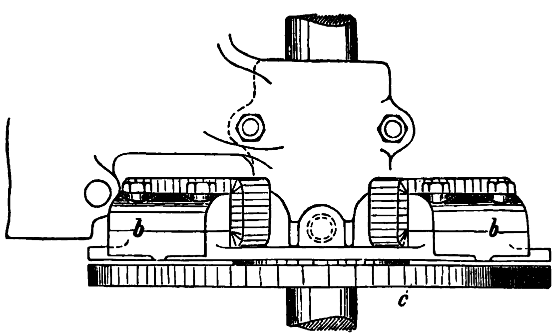


Fig. 257.

Eine nach vorstehenden Grundsätzen von der Union-Elektrizitäts-Gesellsehaft ausgeführte Bremse wird durch die Fig. 256 und 257 dargestellt. Dieselbe wird aus einer Anzahl im Kreise

stehender Elektromagneten mit inneren und äusseren, voneinander getrennten Polstücken a gebildet, welche ihre Polflächen in derselben Ebene haben und durch radiale, mit Spulen umwickelte Joche b derart verbunden werden, dass die Kontaktflächen der Bremsscheibe gegenüber stehen. Der Schlitz zwischen den beiden Polflächen besitzt eine nicht kreisrunde Form. Die Bremsscheibe c wird auf ihrer ganzen Fläche gleichmässig beansprucht.

Eine von Siemens & Halske ausgeführte Bremse besteht darin, dass ein Gramme-Ringanker mit sehr vielen seitlichen Polansätzen versehen ist, die mit ihrer, durch die wechselnde Wickelung der zwischenliegenden Wickelungsstücke hervorgebrachten Polaritätsänderungen auf seitlich liegende, mit der Achse verschiebbar aber nicht drehbar verbundenen Scheiben wirken.

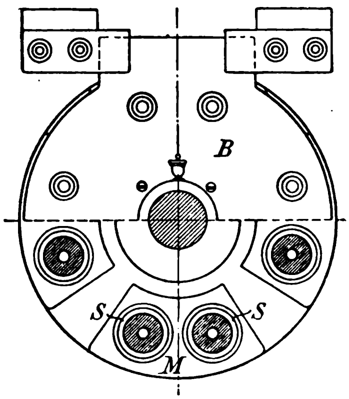


Fig. 258.

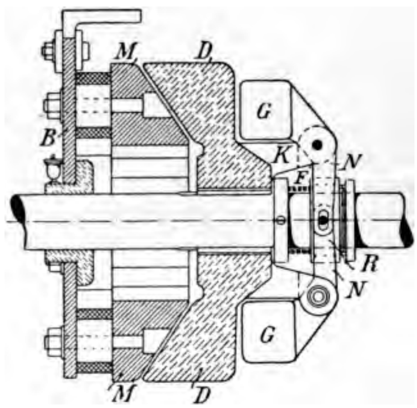


Fig. 259.

Die Aktien-Gesellschaft Elektrizitätswerke (vormals O. L. Kummer & Co.) in Dresden hat eine nach System Fischinger konstruierte Bremse verwirklicht, bei der überall gleichgerichteter Magnetismus adhäsionsvermehrend auf zwei Achsenbremsscheiben wirkt. Von gleicher Firma wurde auch folgende Anordnung für Nutzbremszwecke nach Corsepius vorgeschlagen: Im Motorwagen werden einige Akkumulatorenzellen einer kleinen transportablen Type untergebracht, welche während der Bergfahrt so in den Hauptstrom eingeschaltet werden, dass sie sich durch denselben laden. Bei der Thalfahrt wird der Anker des Hauptstrommotors direkt an die Leitung (Oberleitung und Schienen) angeschlossen, die kleine Hilfsbatterie aber auf die Schenkelwickelung des Motors geschaltet. Hierdurch erhält der Motor (oder die Motoren) den erforderlichen Magnetismus und ist so befähigt, Strom zu erzeugen, der ohne weiteres nutzbar wieder

in die Leitung geführt werden kann. Geht derselbe in die oberirdische Leitung, so fliesst er den berganfahrenden Wagen zu und entlastet dadurch die Betriebsmaschine. Ebenso ist es natürlich möglich, eine stationäre Batterie an die Leitung anzuschliessen und durch den wiedergewonnenen Strom zu laden oder eine im Wagen selbst befindliche und dauernd (wie bei reinem Akkumulatorenbetrieb) oder zeitweise (wie bei gemischtem Betrieb mit Akkumulatoren und Oberleitung) den Betriebsstrom liefernde Batterie die Bremsenergie aufnehmen zu lassen.

Eine von Deri angegebene Wirbelstrom- und Reibungsbremse wird in den Fig. 258, 259 und 260 dargestellt und besteht nach einem Bericht der ETZ aus der Kombination einer magnetischen und mechanischen Bremse. So lange die Fahrt noch schnell genug ist, um durch den Wagenmotor noch Bremsstrom erzeugen zu können, wirkt die Bremse als Wirbelstrombremse, bei langsam werdender Fahrt wirkt die Reibung mit.

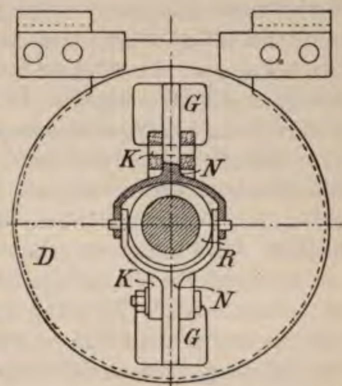


Fig. 260

Der Übergang von der einen Wirkung zur anderen geschieht automatisch. Die Beanspruchung und Abnutzung jener Teile, welche der Reibung ausgesetzt sind, ist eine ganz geringe, weil die Reibung nur kurze Zeit andauert und nur bei kleinen Geschwindigkeiten eintritt.

An dem Wagengestell fest und die Achse umgebend ist ein System von Elektromagneten SM mit gemeinsamer Jochplatte B angeordnet. Die Spulen sind mit Blech dicht umhüllt und dadurch gegen Schmutz und Feuchtigkeit geschützt. Die Wickelung der Spulen ist derart, dass die Polschuhe abwechselnd ein Nord-Süd-Magnetfeld bilden, wenn Strom durch die Spulendrähte fliesst. Vor dem Polkranz liegt der gusseiserne Anker D, welcher mit der Wagenachse rotiert, jedoch eine Bewegung in der Achsenrichtung ermöglicht. An dem Anker befinden sich Angüsse K, welche zwei Fluggewichte G tragen, die natürlich an der Drehung der Wagenachse teilnehmen. Infolge der Centrifugalkraft trachten die Gewichte nach aussen und drücken durch die gabelförmigen Hebel N den Stellring R gegen die Feder F. Sowohl die Feder F als auch die der Flugkraft ausgesetzten Gewichte G streben den Anker D von den Polschuhen M zu entfernen bis zu einer durch einen Anschlag begrenzten Distanz von wenigen Millimetern. Die magnetische Kraft hingegen,

von den Polschuhen ausgehend, zieht den Anker in entgegengesetzter Richtung, d. h. gegen die Polschuhe an. Die verschiedenen Kräfte sind so bemessen, dass die magnetische Kraft die Federkraft überwinden kann, wenn sie allein gegenwirkt, nicht aber dann, wenn sie durch die Flugkraft der Gewichte unterstützt wird.

Solange kein Strom durch die Spulen fliesst, wird der Anker durch die Kraft der Feder F abgedrückt und von den Polstücken fern gehalten. Der Ingangsetzung des Wagens steht sonach weder ein magnetischer, noch ein Reibungswiderstand im Wege. Wird aber Strom in die Spulen geleitet, so ziehen die Elektromagnete, indem sie die Federkraft überwinden, den Anker an sich heran, und es tritt zwischen dem letzteren und den Polschuhen eine enge Berührung ein, welche einen bedeutenden Reibungswiderstand verursacht. Befindet sich also während der Fahrt die Wagenachse und mit ihr der Anker in Rotation, so wird diese Drehung durch keinerlei Widerstand gehemmt, solange als die Bremse durch Stromeinleitung nicht bethätigt wird. Die Bremsung erfolgt durch Schliessung des Stromkreises; die nächste Folge davon ist, dass die solcherart stark erregten Elektromagnete in dem Anker Wirbelströme induzieren, wodurch ein kräftiger elektromagnetischer Widerstand eintritt, welcher — vorläufig ohne Reibung — die Fahrgeschwindigkeit verzögert. Die Elektromagnete können nämlich den Anker nicht anziehen, weil nebst der Federkraft noch die Flugkraft der Gewichte der magnetischen Anziehung entgegenwirkt. Erst wenn durch die elektromagnetische Bremsung die Fahrgeschwindigkeit so weit abgenommen hat, dass letztere Wirkung erlahmt, überwindet die magnetische Anziehung die Gegenkraft, der Anker wird an die Polschuhe angezogen, die Reibung tritt in Wirksamkeit und der Wagen wird vollständig abgebremst, sofern Netzstrom durch die Magnetwindungen geleitet wird. Diese Bremse stellt eine Kombination der Fischinger'schen Bremse mit der Unions- und Siemens & Halske'schen Bremse dar, bei denen nur allein eine Feder das Abdrücken der Bremsscheibe besorgt. Die Wirkung der Fluggewichte ist neu.

Wirksamer als derartige Achsscheibenbremsen müssen magnetische Schienenbremsen sein, da alsdann die grösste Geschwindigkeit zwischen dem Wechselfeld und der feststehenden Eisenmasse ausgenutzt wird und somit die Magnetwirkung am stärksten sein kann. Zudem kommt hinzu, dass eine magnetische Wechselfeldschienenbremse die Adhäsion zwischen Rad und Schiene erhöht, wodurch die Handbremse noch wirksamer gemacht wird.

In neuester Zeit hat man die Luftdruckbremsen bei elektrischen Strassenbahnen (Grosse Leipziger Strassenbahn, Oberschlesische Strassenbahnen) in Anwendung gebracht, weil es bis vor kurzem

nicht gelungen war, durchgehende elektrisch betriebene Bremsen wirksam zu gestalten. Der Vorzug der Luftdruckbremsen liegt in der Unabhängigkeit vom elektrischen Strom und in der Bremsung bis zum Stillstand des Wagens, als Nachteil gilt der hohe Anschaffungspreis und der ständige Kraft- oder Stromverbrauch (15—18 %) zum Bewegen der Luftpumpen bezw. zum Akkumulieren der Bremsarbeit.

Bei den elektrischen Bremsen nach der Motortype und der Sperry-Type erscheint nicht, wie bei der Hand- und der Luftdruckbremse die Bremsarbeit in Bremsmaterialabnutzung, sondern nur in unschädlicher Wärme.

Über elektrische Schnellbremsung hat Baumgardt in der ETZ 1895, Heft 13, S. 184, eingehende Berechnungen angestellt.

e) Sandstreu-Apparate.

Die Adhäsion zwischen Rad und Schiene findet ihre natürliche Grenze bei dem Reibungskoëffizienten zwischen den aufeinander arbeitenden Flächen. Zwischen Rad und Schiene ist 1 : 7 die theoretische Grenze, jedoch ist die Beschaffenheit der Schiene bei den verschiedenen Witterungsverhältnissen nicht immer eine solche, dass man mit dem theoretischen Reibungskoëffizienten rechnen darf, vielmehr muss bedeutend früher für eine Adhäsionsvermehrung zwischen Rad und Schiene gesorgt werden, wenn der Wagen gefahrlos Steigungen und Gefälle von 1 : 15 bis 1 : 10 überwinden soll. Bis zur Adhäsionsgrenze zu gehen, verbietet die praktische Erfahrung aus Sicherheitsgründen. Die Dampfbahn hat für die Vermehrung der Adhäsion ihr Dampfstrahlgebläse, welches entweder reinen Dampf zwischen Rad und Schiene bläst oder durch den Dampfstrahl Sand aus dem Sandkasten der Lokomotive zwischen Rad und Schiene führt, und besitzt mit dieser Vorrichtung einen einfachen, brauchbaren und längst bewährten Apparat. Für elektrische Wagen hat man mehrfach Konstruktionen angewendet, welche den Sand durch Rüttelwerke oder Transportschnecken körnerweise auf die Schienen streuen sollen. Diese Rüttelwerke u. s. w. werden vom Wagenführer in Bewegung gesetzt, sobald die Adhäsion vermehrt werden muss. Ein Mangel dieser Sandstreu-Apparate ist jedoch, dass nasser Sand, wie solcher im Wagen nicht zu verhindern ist, unweigerlich das Funktionieren des Sandstreu-Apparates in Frage stellt. Es sind daher mehrere Konstruktionen üblich geworden, um diesem Übelstand zu begegnen. Die einfachste Methode, Sand auf die Schienen zu streuen, besteht darin, dass an die Perronvorderwand ein kleiner Trichter mit langem, fast bis auf die Schienen reichendem Rohr gehängt und im Bedarfsfalle vom Wagenführer mit der Hand gefüllt wird.

Der hierzu erforderliche, möglichst fein gesiebte Sand wird in einem besonderen Kasten am Vorderperron des Motorwagens mitgeführt. In den Kurven kann dieser Apparat die Schienen natürlich nicht bestreuen, sondern das daneben befindliche Pflaster. Da aber bei Rillenschienen das Rad in der Kurve klemmt, so ist die Adhäsionsvermehrung hier überflüssig. Man hat auch diesen kleinen Trichter mit aufklappbarem Deckel und von aussen zu bethätigender Ventilklappe versehen, um im Bedarfs- und Notfalle den ersten Griff zum Sandvorrat zu ersparen. Vervollkommnetere Konstruktion werden durch die nachfolgenden Bilder veranschaulicht.



Fig. 261.

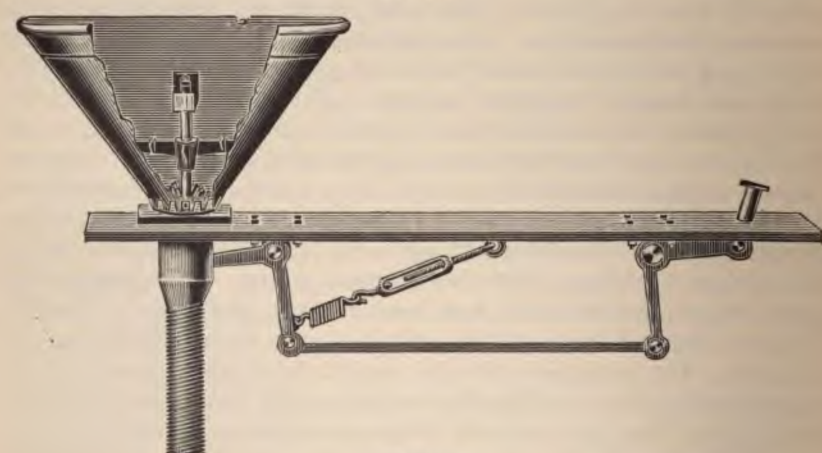


Fig. 262.

Aus Fig. 261 ist ersichtlich, dass, wenn der Führer auf den Knopf K tritt, der auf dem Schieber befindliche Stift S im Sandtrichter hin- und herbewegt wird, wodurch einmal der Sand an der Trichteröffnung in Bewegung gesetzt und andererseits durch die Trichteröffnung ein Herabfallen des Sandes in das Rohr R ermöglicht wird. Der Stift hat den Zweck, zu verhindern, dass nasser Sand sich an dem engsten Teil des Trichters festsetzt und vielleicht den noch trockenen Sand der oberen Schichten nicht mehr nachdringen lässt. Die Konstruktion ist einfach und hat sich in dieser Form gut bewährt. In Fig. 262 ist eine Vorrichtung gezeigt, welche nicht durch einen schiebenden Stift eine Lockerung des Sandes verursacht, sondern durch einen sich hebenden und senkenden Quirl, der die Öffnung zeitweise verschliesst und wieder frei macht. Während in Fig. 261 die Öffnung und Verteilung des Sandes durch eine hin- und hergehende Bewegung erfolgte, ist sie hier durch eine vertikal auf- und abgehende Bewegung bewirkt. Es ist bei dieser

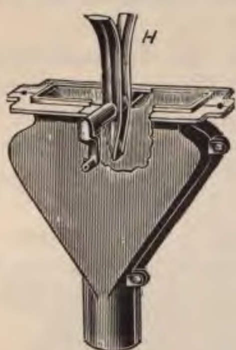


Fig. 263.



Fig. 264.

Konstruktion nicht ausgeschlossen, dass sich in den Gelenken des Quirls Sand festsetzt und dann das Hin- und Herbewegen vom tiefsten bis zum höchsten Punkt erschwert, wenn nicht unmöglich macht. Ausserdem besitzen beide dargestellten Konstruktionen den unleugbaren Nachteil, dass mehrere Hebel und Federn zur Bethätigung der Sandstreuung Gelegenheit zum Versagen geben können. Diesen Übelstand vermeidet der in Fig. 263 und 264 dargestellte Sandstreuer, der an Einfachheit und Zuverlässigkeit nichts zu wünschen übrig lässt.

Derselbe vermeidet Lager, Gleitflächen, Walzen, Schieber, Ventile und Gelenke im Bereiche des Sandes, wodurch ein Versagen solcher Teile ausgeschlossen ist. Es kann niemals eine grössere Menge Sand gestreut werden, als dem Hub des Hebels H entspricht, und

im Sande befindliche Steinchen ziehen keine Verstopfung nach sich. Seine Bewegung erfordert keine grosse Kraft. Der natürliche Böschungswinkel des Sandes in der unteren Mulde hat zur Folge, dass bei jedem Hebelhub eine ganz bestimmte Sandmenge zum Abfallen gelangt und dass sich von selbst die neue Streumasse für den nächsten Hub bereit legt. Sämtliche Teile sind aus Bronzemetall hergestellt und der Kasten aus zwei symmetrischen Teilen zusammengesetzt. Der Hebel H kann entweder direkt vom Wagenführer hin- und herbewegt werden, wenn der Apparat am Vorder perron angebracht ist, oder er kann durch einen Schnurzug mit zurückziehender Feder bethätigt werden, wenn er in der Mitte des Wagens zwischen den Rädern oder im vorderen Teil des Wagenkastens dicht vor den Rädern liegt.

f) Wagenschutzvorrichtungen.

Bei elektrischen Strassenbahnwagen, welche soviel schneller als andere Wagen laufen, erfordern die Bahnräumer besondere Aufmerksamkeit.

Ein nur wenige Centimeter über der Schienenoberfläche am Hauptrahmen aufgehängtes Gestell aus Flacheisen und Brettern ist die einfachste und wirksamste Art der Ausführung. Nach den beiden Plattformen des Wagens läuft dies Gestell in einen flachen Winkel von ca. 120° aus, dessen Schenkel auf der Strecke liegende Körper zur Seite schieben.

Ein Mantel aus Drahtflechtwerk oder gelochtem Blech zieht sich bei einzelnen Ausführungen um den ganzen Raum unter den beiden Plattformen und Wagenseiten hin und gewährt damit auch seitlich einen Schutz gegen Unfälle.

Es stehen zwei Konstruktionsbedingungen einander gegenüber, deren jeweilige Erfüllung immer einen Kompromis in sich schliesst. Diese Bedingungen sind: geringste Entfernung zwischen Bahnräumer und Pflaster zum Schutze, und grössere Entfernung zwischen diesen Teilen zum Zwecke der Erhaltung des Bahnräumers und Vermeidung der Entgleisungsgefahr.

Für die Bahnräumer sind konstruktiv drei Befestigungsarten unterscheidbar, deren erste diejenige ist, welche in fester Verbindung mit dem Wagenkasten ist und mit diesem alle Schwankungen und Federungen mitmachen muss. Ein derartiger Bahnschutz ist durch Fig. 265 gekennzeichnet. Der Vorteil dieses Systems ist, dass weder vorn noch seitwärts irgend eine Person, Tier oder Gegenstand unter den Wagen gelangen kann, wenn der Wagen nicht auf- und niederschwankt (Drehgestellwagen). Der Nachteil liegt in der verloren gehenden Bremslänge des Wagens und in der Möglichkeit, dass ein

vor dem nickenden Wagen liegender Körper in vertikaler Richtung gequetscht werden kann. Die Entfernung der untersten Kante des Bahnräumers von der Pflaster- bezw. Schienenoberkante muss mindestens 10 *cm* sein, um ein Fortschieben des gefährdeten Körpers und nicht ein Überholen desselben zu erreichen. Selbst einer stehenden Person kann ein derartiger Bahnräumer Unheil bringen, da die Füsse im Gelenk gebrochen werden, wenn die unterste Kante dagegen stösst. Ein grosser Teil der Übelstände wird behoben, wenn der Bahnräumer erst dicht vor den Rädern angebracht wird. Hierdurch

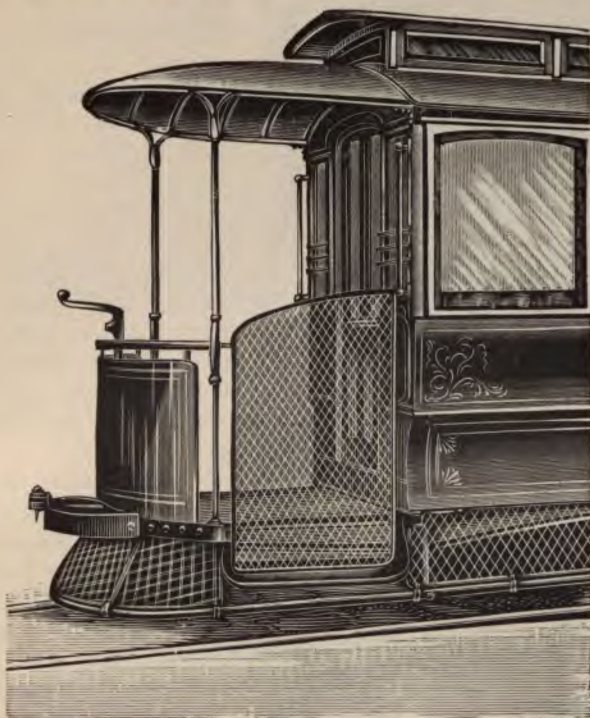


Fig. 265.

wird die Bremslänge vergrössert und die durch das Stampfen bedingte Entfernung verringert. Die zweite Möglichkeit der Befestigung ist direkt an den Rädern oder am Untergestell, wie Fig. 266 zeigt. Da das Untergestell zumeist nur geringe Federung besitzt, kann die lichte Entfernung zwischen Unterkante, Bahnräumer- und Oberkante-Pflaster sehr gering sein. Um diese jedoch im Falle der Gefahr gleich Null zu erhalten, soll die Berührung mit dem gefährdeten Körper genügen, um den Bahnräumer vollends herunterzudrücken.

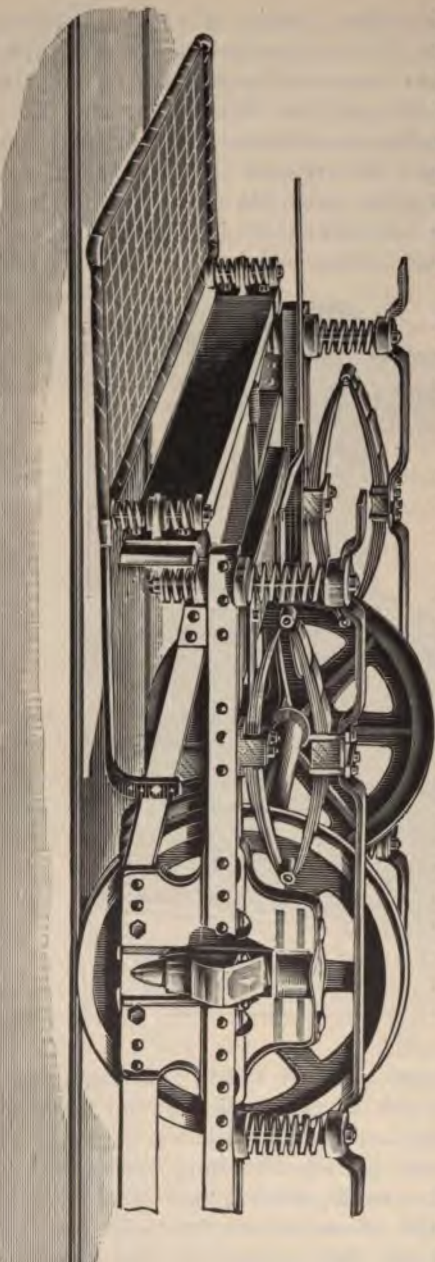


Fig. 266.

Prinzipiell muss man bestrebt sein, den gefährdeten Körper unversehrt aufzufangen und ihn solange zu schützen, bis der Wagen steht. Ein durch Fig. 266 Abgefangener kann noch über den vertikalen Brettschutz herübergeschleudert werden. Darum hat man Formen gewählt, wie sie die Fig. 267 zeigt, wobei zugleich die Möglichkeit einer Kombination von 265 und 266 angedeutet wird; die dritte Art einer wirksamen Schutzbefestigung zeigt Fig. 268 in Form eines besonderen einachsigen Wagens. Dass man hiermit alles erreichen kann, was nach vorstehenden Grundsätzen gefordert wird, geht ohne weiteres aus der Zeichnung hervor.

Wenn Schutzvorrichtungen ein gewisses Mass an Einfachheit überschreiten, dann werden sie lästig, wenn sie aber das höchste Mass der Sicherheit erreichen, dann lassen sie die Höhe der Gefahr vergessen und bieten so eine neue Gefahr.

g) Schienenreiniger, Schneefegemaschinen und Sprengwagen.

Das Bestreben, die Schienen einer Strassenbahn schnell und gründlich zu reinigen, hat viele Konstruktionen gezeitigt. Dieselben

scheiterten jedoch beim Pferdebetrieb daran, dass keine Kraft- bezw. Arbeitsleistung zur Bewegung der mechanischen Reinigungswerkzeuge verfügbar war, weil das Pferd schon beim normalen Betriebe



Fig. 267.

mit voller Leistung arbeitete. Bei motorischem Betriebe fällt dieser Mangel fort. Eine Kritik der Methoden mechanischer Schienen-

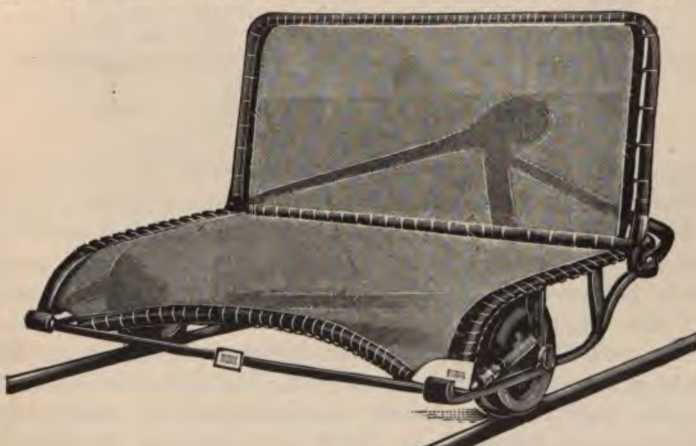


Fig. 268.

reinigung ist noch verfrüht, da dauernde praktische Betriebe noch nicht zu verzeichnen sind. Indessen dürfte es zweckmässig sein, die Anfänge durch ausgeführte Apparate zu kennzeichnen.

Aus dem Bestreben, Bahnwärter zu sparen und bei Schneefällen das Salzstreuen möglichst einzuschränken, ist der mechanische Schienenreiniger entstanden, dessen Anordnung im Quer- und Längenschnitt eines Wagens in Fig. 269 und 270 dargestellt ist.

Derselbe besteht im wesentlichen aus pflugscharähnlichen Räumern oder Kratzern A aus Stahlblech, die der oberen Begrenzung des Schienenquerschnittes angepasst und an den durch das Winkeleisen C miteinander verbundenen Flacheisen B befestigt sind. Letztere sind leicht drehbar um die Bolzen D, die in den um die Achse E drehbaren Armen F befestigt sind. Die Kratzer sind daher nach jeder Richtung leicht beweglich, folgen willig den Bahnkrümmungen und gehen auch gut durch die Weichen. Sie werden mittels der vom Führerstande aus durch die Zugstange G bewegten Hebel H aus-

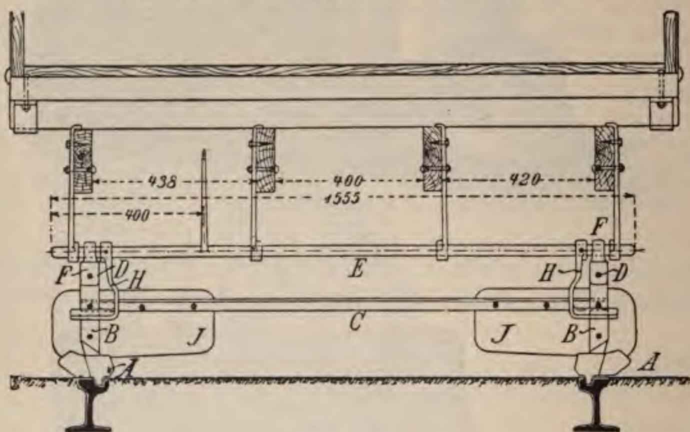


Fig. 269.

und eingerückt. Um das aus den Schienenrillen an den Kratzern, hochsteigende Schmutzwasser aufzufangen und abzuleiten, sind die Schutzbleche J vorhanden. K sind Belastungsgewichte.

Die Schienenkratzer haben sich so gut bewährt, dass auf den elektrisch betriebenen Linien die Bahnwärter (Schienenreiniger) bis auf die wenigen Leute abgeschafft werden konnten, die die Reinigung und Beaufsichtigung der Weichen zu besorgen haben. Bei leichten Schneefällen war es möglich, die Schienen ohne Zuhilfenahme von Salz rein zu halten. In Hamburg ist dieser Apparat am Betriebswagen befestigt, in Berlin hat man ihn an einem besonderen Revisionswagen vorgesehen.

Es ist nicht zu bezweifeln, dass die Rillen von leicht aufliegendem Schmutz und geringem Schnee durch diesen Apparat befreit werden, wodurch das lästige Salzstreuen zunächst überflüssig wird.

Jedoch ist hiermit noch nicht alles das erreicht, was zur Verhinderung einer Verkehrsstockung bei grossen Schneefällen u. s. w. notwendig ist. Gerade hierfür reicht menschliche Kraft nicht mehr aus, sodass der Motor helfend eingreifen sollte. Von Motoren bewegte Schneepflüge sind daher ebenfalls üblich geworden; sie schaffen den Schnee wohl von dem Gleis fort, jedoch auf Kosten der übrigen Strassenoberfläche. Die Schnee- und Schmutzmassen werden seitlich der Fahrbahn zu langen Haufen zusammengetragen und vom übrigen Fuhrwerksverkehr wieder zerfahren und auf das Gleis gebracht. Es

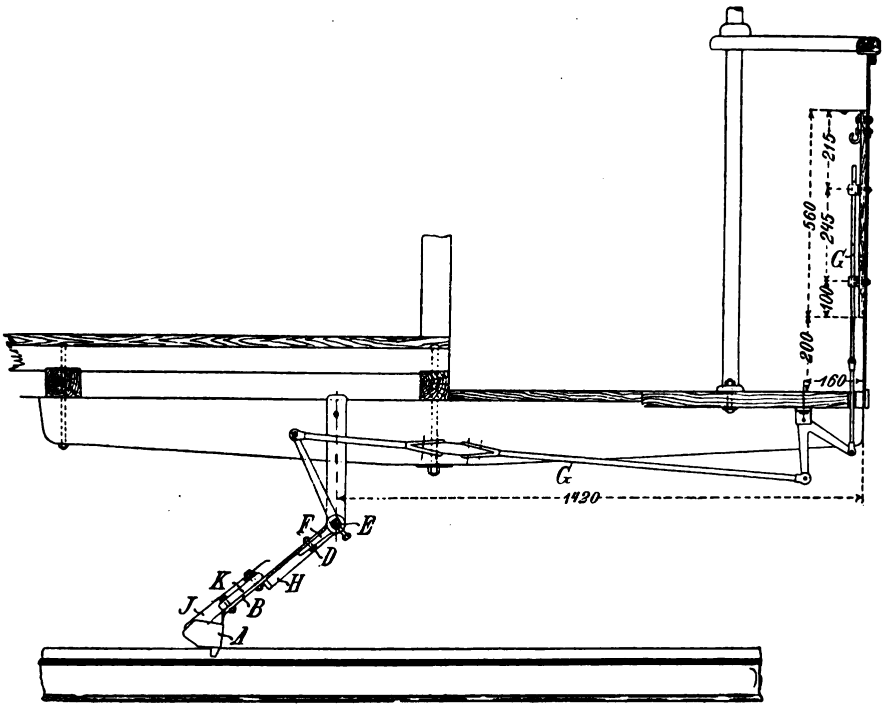


Fig. 270.

muss sonach das Bestreben darauf gerichtet sein, die Schnee- u. s. w. Massen sofort aufzuladen und so fortzuschaffen, dass sie nicht mehr störend wirken. Diese gründliche Beseitigung erfordert allerdings mehrere Wagen, die dem Schneepflug angehängt werden müssen.

Einen Schneekehrwagen amerikanischer Ausführung stellt Fig. 271 dar. Dieser wird von einem sehr kräftigen Motor fortbewegt. Die Stachelbürsten werden von dem gleichen Motor in Rotation versetzt und schleudern bei schneller Drehung der Bürsten den Schnee weit

fort. Der von den Walzen nicht erreichte Schnee wird von dem Seitenkratzer fortgeschoben.

Zur Besprengung der von der Bahn befahrenen Strassen wird gewöhnlich ein besonderer Sprengwagen von einem Betriebswagen

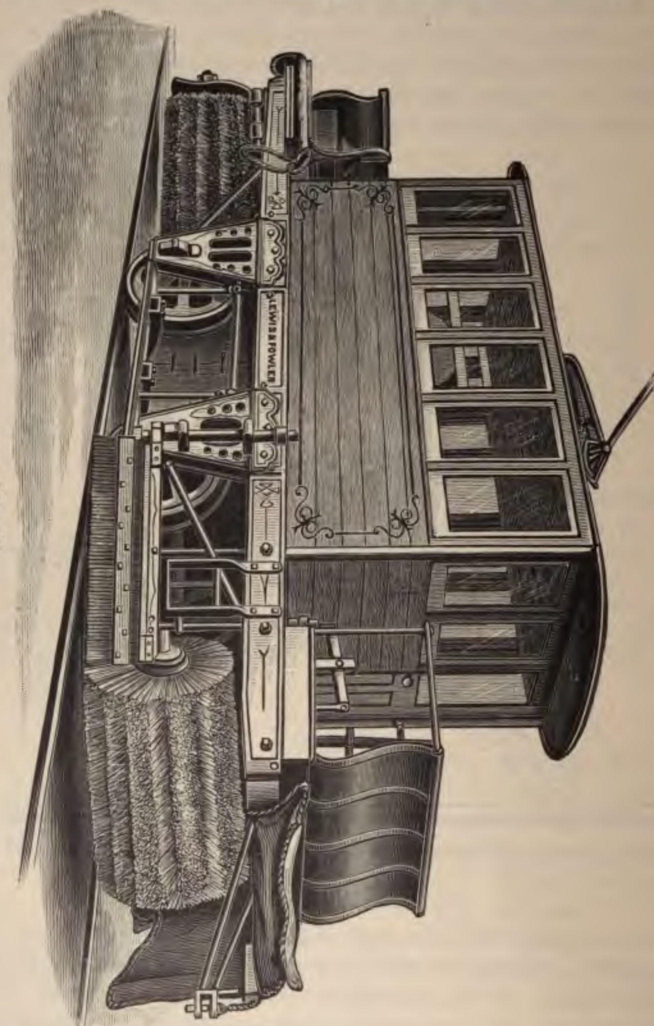


Fig. 271.

gezogen oder gestossen. In Amerika hat man jedoch auch den Sprengwagen selbst mit Motor versehen und das Äussere einem Wagen für Fahrgäste gleich gemacht. Ein solcher Sprengwagen ist von den Kensington Engine Works, Philadelphia, Pa., für die

Benutzung auf elektrischen Strassenbahnen gebaut worden, welcher 13,6 *cbm* fasst; mit dieser Wassermenge sollen 5 *km* Strassenlänge besprengt werden können. Der Wasserkasten des Wagens ist aus Eisenblech hergestellt und durch Querwände in sechs Abteilungen geteilt, welche untereinander in Verbindung stehen; diese Anordnung hat den Zweck, die heftige Bewegung des Wassers beim plötzlichen Anhalten des Wagens zu verhindern. Mannlöcher zum Einsteigen in die Abteile sind in der Decke angebracht, ebenso an beiden Seiten Stutzen für das Einfüllen aus Hydranten. Vorn und hinten hat der Wagen Plattformen, von denen aus Leitersteige nach der Decke führen. Die Sprengröhren liegen am vorderen und hinteren Ende des Wagens; ausserdem trägt derselbe aber auch zwei umlegbare Ausliegerröhren von je 6 *m* Länge, welche eine breitere Besprengung



Fig. 272.

der Strasse auf insgesamt 15 *m* gestatten. Im Notfalle können diese Arme in 10 Sekunden an die Seite des Wagens umgelegt werden, wenn die Strasse plötzlich frei gemacht werden muss. Die Union Traction Co. in Philadelphia hat ihre sämtlichen Linien mit diesen in Fig. 272 dargestellten Wagen ausgerüstet.

h) Montage- und Revisonswagen.

Sowohl beim Bau oberirdischer Stromzuführungsanlagen als auch für die Unterhaltung derselben benutzt man fahrbare Gerüste, die je nach den obwaltenden Verhältnissen abweichende Konstruktionen aufweisen.

Einen allen Bedürfnissen anzupassenden Montage- und Revisionswagen zu konstruieren, bedarf sehr eingehender Studien aller dabei

in Betracht kommenden Verhältnisse. Einesteils muss der Wagen leicht sein, um bei Bauarbeiten, bei welchen der Wagen nur sprungweise von den Arbeitern selbst fortbewegt werden soll, leicht trans-



Fig. 273.

portierbar zu sein, andererseits muss er geeignet sein, bei Revisionsarbeiten, wo der Wagen fast ständig in Bewegung bleibt, durch ein



Fig. 274.

Pferd fortbewegt werden zu können. Bei der bedeutenden Höhe des Gerüstes muss es steif sein und darf nicht allzusehr federn,

der Wagen muss auf dem Pflaster bezw. auf der Chaussee ebenso gut verwendbar bleiben, wie auf dem Strassengleise. Will man den Wagen auch auf freiliegender Schiene benutzen, so muss man ihn mit Spurrädern versehen, welche bei der Pflasterfahrt leicht ausgehoben werden können, sodass die Haupträder gewöhnliche Wagenräder bleiben können. Die Höhe des Gerüstes muss während der Zeit des Transportes mitunter verringert werden können, was man durch Umklappen des Wagens, wie es Fig. 273 zeigt, oder durch Einschieben des Wagengerüstes, wie durch die Fig. 274, 275 und 276 dargestellt, erreichen kann. Der zuletzt dargestellte Wagen bietet noch den besonderen Vorteil, dass man die verbleibende Höhe des eingeschobenen Gerüstes ausnützt, um Kleiderschränke, Werkzeugkisten, Materialraum u. dergl. unterzubringen. Das feste Untergestell dieses Wagens gewährleistet eine Steifheit des Turmbaues,



Fig. 275.

wie er bei dem Wagen in Fig. 273 wohl vermisst werden muss. Fig. 274 zeigt einen Montagewagen, welcher benutzt werden soll, um während des Betriebes elektrischer Bahnen Revisionen vornehmen zu können, und ist zu diesem Zwecke mit einer ausladenden Plattform versehen, welche die halbe Dachbreite des Wagens überdeckt und dem Rollenkontakt ein bequemes Abrollen am Fahrdraht ermöglicht. Bei Bügelkontakt ist dieser Wagen von keinem besonderen Vorteil, weil die Bügelbreite verhindert, nahe an den Fahrdraht heranzukommen.

Die Ausführung solcher Wagen ist stets so zu treffen, dass sie nicht Kurzschluss zwischen Fahrdraht und Fahrschiene bilden können.

Es empfiehlt sich daher, das Holz zu firnissen und alsdann mit Ölfarbe gut zu streichen und schliesslich zu lackieren, um auch bei



Fig. 276.

nasser Witterung durch das Holz geringsten Stromübergang zu erreichen. Eine Oberflächenleitung vermeidet man durch Tropfkanten rings um die Plattform herum. Eine kräftige Bremse muss vorgesehen werden, damit die Arbeiter auf dem Wagen gesichert stehen und der Wagen im Gefälle beherrscht werden kann.

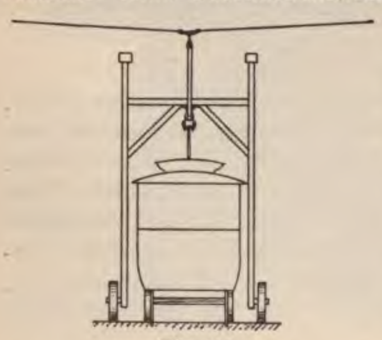


Fig. 277.

In Fig. 277 ist ein Arbeitswagen schematisch dargestellt, welcher eine lichte Öffnung lässt, um den Betriebswagen unter sich durchfahren zu lassen. Erhält dieser Wagen geeignete Abzweigdrähte vom Fahrdraht, so kann der Fahrkontakt unter Strom herabgedrückt werden.

i) Wagenbeleuchtung, Signalisierung und Heizung.

Die bisher übliche Beleuchtung der Strassenbahnwagen erfolgte mit Petroleum. Diese Beleuchtungsart hat naturgemäss ihre Übelstände in der Unsauberkeit und Unzuverlässigkeit, wenn die Wartung nicht die allersorgfältigste ist. Beim elektrischen Betriebe wendet man durchgehends Glühlampenbeleuchtung an. Diese Lampen dürfen nur mit Bajonettfassung versehen werden, damit ein Lockern infolge der Wagenerschütterungen ausgeschlossen ist. Die Anzahl der Lampen richtet sich nach der Betriebsspannung der Bahn. Bei 500 Volt werden fünf Lampen von 16—25 Normalkerzen hintereinander geschaltet und durch einen Nebenschlussstromkreis zum Wagenmotor gespeist.

Da durch irgend welche Unfälle auf der Strecke der Betriebsstrom versagen kann, ist es üblich geworden, noch irgend eine Notbeleuchtung, wie Stearinkerzenlicht, Petroleumlampen, Akkumulatorenlämpchen oder geeignetes Gaslicht vorzusehen. Bei Wagen mit Rollenkontakten wird diese Nebenbeleuchtung ständig im Gebrauch mitgeführt, damit bei Rollenentgleisungen nicht der ganze Wagen dunkel wird. Bei Bügelkontakten, wo Entgleisungen vermieden sind, genügt es, nur im oben beschriebenen Notfalle die Nebenbeleuchtung in Funktion zu setzen.

Brennt bei einer Lampe der Kohlenfaden durch oder wird die Glasbirne zerschlagen, so treten gleichzeitig die übrigen vier Lampen ausser Thätigkeit. Um dieses zu verhindern, bringt man die Glühlampe in Verbindung mit einem selbstthätigen Ausschalter, welcher beim Erlöschen der Glühlampe den anderen vier Lampen Stromdurchgang ermöglicht.

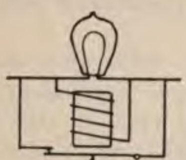
Ein derartiger Aus- und Umschalter soll in folgendem kurz beschrieben werden:

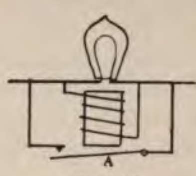
Die Klemmen jeder der hintereinander geschalteten Glühlampen sind mit einem besonderen Nebenschluss verbunden, welcher die Bewickelung eines Elektromagneten bildet, der infolge seiner Widerstandsspule nur von einem sehr kleinen Teile des Lichtstromes erregt wird und daher nur eine sehr geringe, auf seinen durch eine Feder vom Pol abgehaltenen Anker, unwirksame Anziehungskraft ausübt. Sobald die Lampe erlischt, geht der ganze Strom durch diese Magnetspule, zieht den Anker kräftig an, welcher entweder die Klemmen der verlöschten Lampe kurzschliesst und dadurch für die anderen Lampen den Stromkreis nicht unterbricht, oder eine Reservelampe oder einen gleichwertigen Widerstand in den Lampenstromkreis schaltet. In der Fig. 278 ist das Schema für die brennende Lampe dargestellt und in Fig. 279 das gleiche für die kurz geschlossene. In beiden Figuren bedeutet A den Hebel, welcher die Umschaltung für die Reservelampe oder den Widerstand bewirkt.

Für die Signalgebung nach aussen hat die Deutsche Strassenbahn-Gesellschaft in Dresden folgende Einrichtung getroffen: Auf dem Wagendache befindet sich eine grosse bunte Glaskugel, in der eine Glühlampe angeordnet ist. Bei Tage ersetzt die bunte Kugel jedes bunte Routenschild, des Abends ist die Kugel durch die Glühlampe in ihrer Farbe ebenfalls weit sichtbar gemacht. Da bei der üblichen Betriebsspannung von 500 Volt bei einem Stromkreis nur fünf Lampen zur Verfügung stehen, so dienen die drei anderen Lampen zur Beleuchtung des Wageninnern und der Perrons.

Der Vorderperron soll unbeleuchtet sein, damit der Wagenführer aus dem Dunklen ins Helle sieht. Die Blendlaterne ist daher auch stets so anzubringen, dass sie niemals Strahlen nach dem Führerstand wirft.

Die Signalgebung des Wagenführers erfolgt zumeist durch eine von Hand oder Fuss bewegte stark läutende Glocke. Dieselbe kann am Bremsgriff so befestigt sein, dass der Wagenführer mit der rechten Hand sowohl die Bremse als auch die Glocke bedienen kann. (Riedel'sche Glocke, System der Dresdener Strassenbahn.)


Fig. 278.


Fig. 279.

Bei der Verständigung zwischen Wagenführer und Wagenschaffner bedient man sich der mittels galvanischer Batterien (Trockenelemente) bewegten Rasselwecker. Kontaktknöpfe und Klingelapparate müssen sehr solid konstruiert und gegen Feuchtigkeit gut geschützt sein.

Als Vorzüge einer elektrischen Wagenheizung gelten Reinlichkeit, Platzersparnis, sofortige Inbetriebsetzung und leichte Regulierbarkeit, als Nachteil ist der hohe Betriebskostenpunkt zu nennen, so dass man bisher noch wenig von den Vorzügen der elektrischen Heizung ausgenutzt hat. Wenn die Heizung als Nebenprodukt gewonnen werden kann, wie bei der Wärmeausnutzung der Vorschaltwiderstände, so ist man zu dieser Heizung mit gutem Erfolge übergegangen. Man hat alsdann die Widerstände unter den Sitzbänken so angeordnet, dass sie im Sommer von der Aussenluft bestrichen werden und die Wärme nach aussen abführen, im Winter dagegen die Innenluft des Wagens erwärmen.

21. Wagenmotor.

a) Die Form der Wagenmotoren und Schutzkästen.

Massgebend für die Raumverhältnisse unter dem Wagenkasten ist die innere Ausgestaltung des Motors selbst. Man ist mit der

Höhe des Wagenkastens stets an die Konstruktion der motorischen Einrichtung gebunden, immerhin aber gestattet diese, nicht ungewöhnliche Verhältnisse zu verwenden. Aus den nachstehend durch Skizzen dargestellten allgemein angewandten Motortypen ist ersichtlich, dass man besonders in der Höhe und Breite bestrebt war, möglichst geringe Dimensionen zu erreichen.

Die älteste Siemens & Halske'sche Type ist wohl die niedrigste aller später gebauten Modelle. Vielleicht verdanken wir gerade dieser, für den Wagenbau sehr geeigneten Form den anfänglichen Fortschritt im elektrischen Bahnbau, denn es ist eine bekannte Thatsache, dass neue Verhältnisse nur dann leicht einführbar sind, wenn das Neue sich nach Möglichkeit an das Vorhandene anschmiegt, d. h. in diesem Falle, dass der Elektromotor sich an die im Gebrauch befindlichen, dem grossen Publikum zur Gewohnheit gewordenen Strassenbahnwagen anpasste. Erst als man sich mit dem Gedanken an elektrische Bahnen mehr vertraut gemacht hatte, durfte man Motoren konstruieren, welche die in der Höhe gedrängte Form verliessen und dafür andere Vorteile im Gefolge hatten.

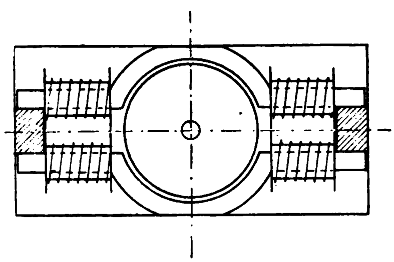


Fig. 280.

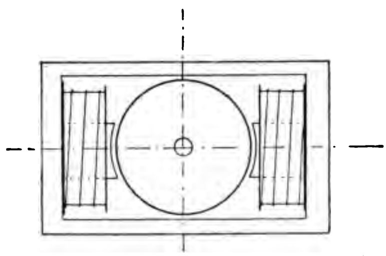


Fig. 281.

Der durch Fig. 280 dargestellte Motor besitzt Trommelanker, schmiedeeiserne gebogene lamellierte Schenkelstücke und gusseisernes Gestell. Diese Lamellierung des Magnetkernes besitzt den grossen Vorzug, dass die Bildung von Extraströmen bei den häufigen Stromschwankungen eingeschränkt wird und dass dadurch die sogenannten Telephonstörungen vermindert werden. Die Herstellung solcher Magnetkerne ist jedoch wesentlich teurer als die jetzt übliche und daher verlassen worden. Der in Fig. 281 dargestellte Motor ist aus einem Stück gegossen, das Material hierzu kann Gusseisen oder besser Gussstahl und Flusseisen sein. Die Ankerform für dieses Modell, sowie für alle neueren Modelle ist der Gramme'sche Ring, und zwar nicht zum geringsten aus dem Grunde, weil die Reparaturen an Ringankern billiger sind als an Trommelankern. Bei geringen

Spurweiten der Bahn spricht auch die Breite des Ankers wesentlich mit und erweist sich der Ringanker auch hierin als vorteilhafter.

Fig. 282 zeigt eine in Höhe und Länge möglichst ausgenützte Motorform, welche sehr geeignet ist, bei breiter Spur zwei Motoren innerhalb des Achsstandes unterzubringen. Fig. 283 zeigt eine weitere Type, deren Magnetisierungsspule unsymmetrisch zum Anker liegt. Ein grosser Vorteil dieser Anordnung liegt gerade in dem unsymmetrischen magnetischen Felde, welches das Gewicht des Ankers zum Teil aufhebt. Da auf dem Wege zur unteren Polfläche Kraftlinien durch Streuung verloren gehen, übt die obere Polfläche eine grössere Anziehungskraft auf den Anker aus, sodass die Ankerlager entlastet werden. Dadurch, dass man diese Type bis zur Achse vollkommen schliessen kann, ist der Motor befähigt, durch Wasser-

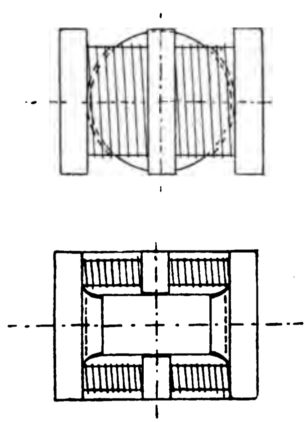


Fig. 282.

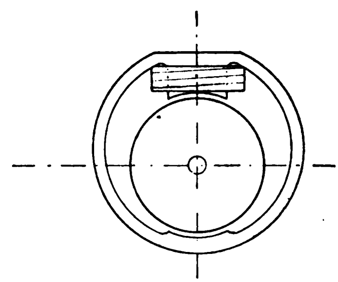


Fig. 283.

pfützen unbehelligt zu fahren. Unterhalb der Achse befindet sich keine Wickelung und dergl., welche einer Beaufsichtigung bezw. Reparatur bedarf.

Die grösseren Motoren werden jetzt fast durchgängig vierpolig ausgeführt, wie dies in Fig. 284 dargestellt ist.

Die Schutzkästen für den Motor und die Transmissionsteile gegen Schmutz, Wasser und Beschädigungen bilden einen sehr wesentlichen Einfluss auf die Konstruktion und auf die Wirkungen im Betriebe.

Das Schutzgehäuse für die Motoren wird meistens durch den Motorkörper selbst gebildet. Die früher angewandten, besonders angeschraubten Zinkblechgehäuse sind zu verwerfen, weil dieselben

weder widerstandsfähig sind, noch solide zu befestigen waren, abgesehen von dem höheren Kostenpunkte. Zudem kommt, dass die magnetischen Eigenschaften keineswegs der Konstruktionsbildung eines Gehäuses entgegenarbeiten, sodass kein Grund vorlag, die ursprüngliche Anordnung mit besonderem Kasten beizubehalten.

Die Schutzgehäuse und demnach die Motorgestelle können in drei verschiedenen Variationen hergestellt sein.

Zur ersten Gruppe gehören diejenigen, welche eine Teilung des Gehäuses in einer Mittellinie der Motorachse zulassen. Bei dieser Anordnung ist das Herausnehmen des Ankers äusserst bequem. Fig. 285 zeigt einen in der Horizontalebene geteilten geöffneten Strassenbahnmotor, während in Fig. 286 derselbe Motor im geschlossenen Zustande dargestellt ist. Die kleine Klappe dient nur zur bequemen Bedienung der Kommutatorbürsten.

Fig. 287 zeigt einen Motor mit der vertikalen Teilungsebene. Da dieser Motor ohne Übersetzung arbeitet, kann der Anker, der direkt auf der Laufachse sitzt oder elastisch und konzentrisch mit der Achse verbunden ist, nicht herausgenommen werden, vielmehr wird derselbe durch das Abklappen der Magnete blosgelegt.

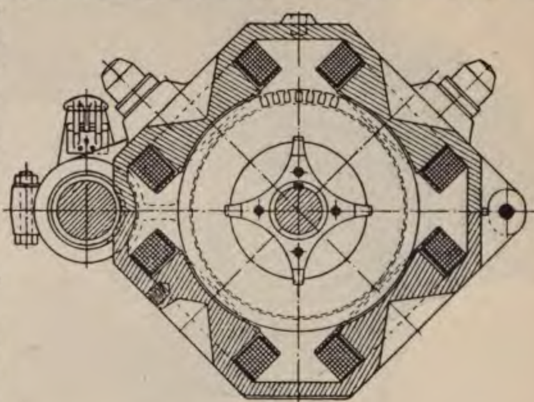


Fig. 284.

Zur zweiten Gruppe gehören diejenigen, deren Gehäuse rings um den Anker herum aus einem einzigen Stück bestehen und deren Abschluss nach aussen durch Stirnschilder geschieht, welche sich senkrecht zur Ankerachse befinden. Bei dem Motor in Fig. 288 ist das Stirnschild nur durch einen Lagerarm ersetzt, der sich für die untere Hälfte in eine halbe Kapsel verlängert. Der obere Teil des Stromwenders bleibt sichtbar und der Bürstenhalter leicht zugänglich. Das Herausnehmen des Ankers geschieht durch Abschrauben eines oder beider Seitenschilder. Das Offenlassen solch' wichtiger Teile am Motor, wie es der Bürstenhalter, Kommutator und Anker sind, ist nicht empfehlenswert, da sowohl Spritzwasser als auch Staub an diese empfindlichen Stellen dringen kann. Der Vorteil der halb offenen Seitenschilder liegt andererseits in der guten Lüftung des Motors, was jedoch bei den besseren Motorkonstruktionen ohne

Belang ist, da dieselben selbst bei höchster Dauerbeanspruchung sich nicht schädlich erwärmen.

Zur dritten Gruppe gehören die Kastengestelle, deren Verschluss durch einen gewöhnlichen Deckel bewerkstelligt wird. Durch Fig. 289 und 290 sind derartige Gestelle veranschaulicht.

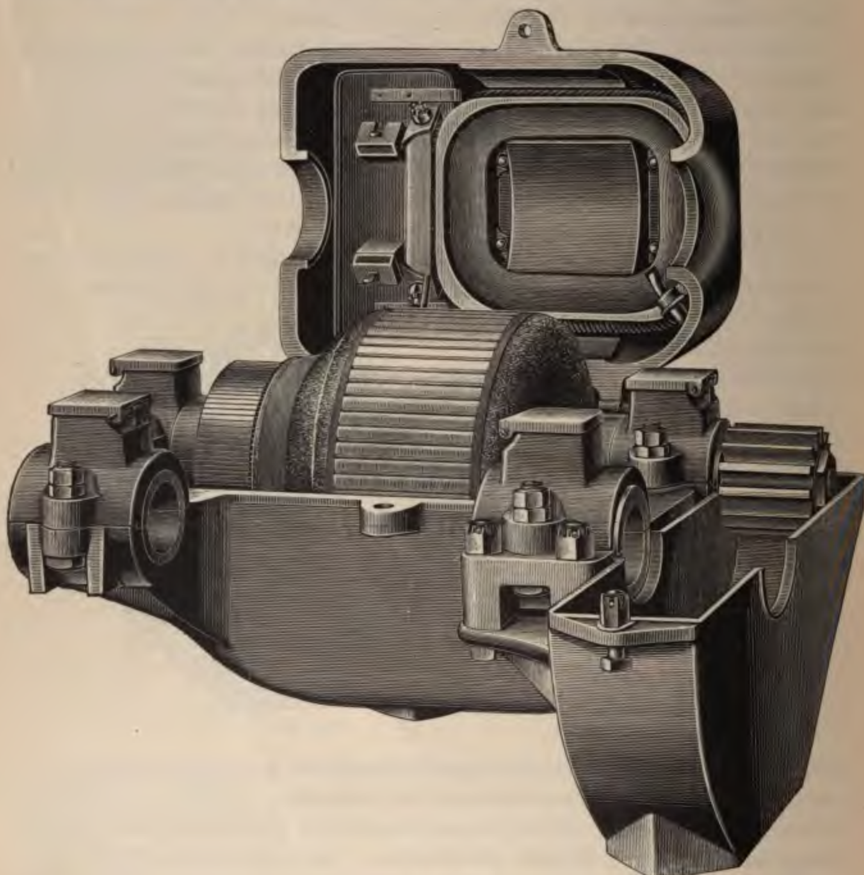


Fig. 285.

Zugleich zeigen die vorstehenden Figuren neben den Motorschutzkästen die üblichen Schutzkästen für die Transmission von der Anker- zur Laufachse. Dieselben sind stets in der Ebene der Centrale geteilt und bestehen entweder aus leichtem Guss oder aus genietetem Blech. Diese Kästen dienen einesteils zum Schutz des Getriebes gegen Staub und dazwischenfallende Stücke und anderen-

teils zum Zusammenhalten der Schmiere, mit der die kraftübertragenden Teile, wie Zahnräder, Ketten, Schneckengetriebe, versehen werden müssen. Während in den vorstehenden Konstruktionen gusseiserne Radkästen dargestellt sind, zeigt die Fig. 291 einen solchen aus genieteten Blechen. Die Blechschutzkästen haben den Vorzug

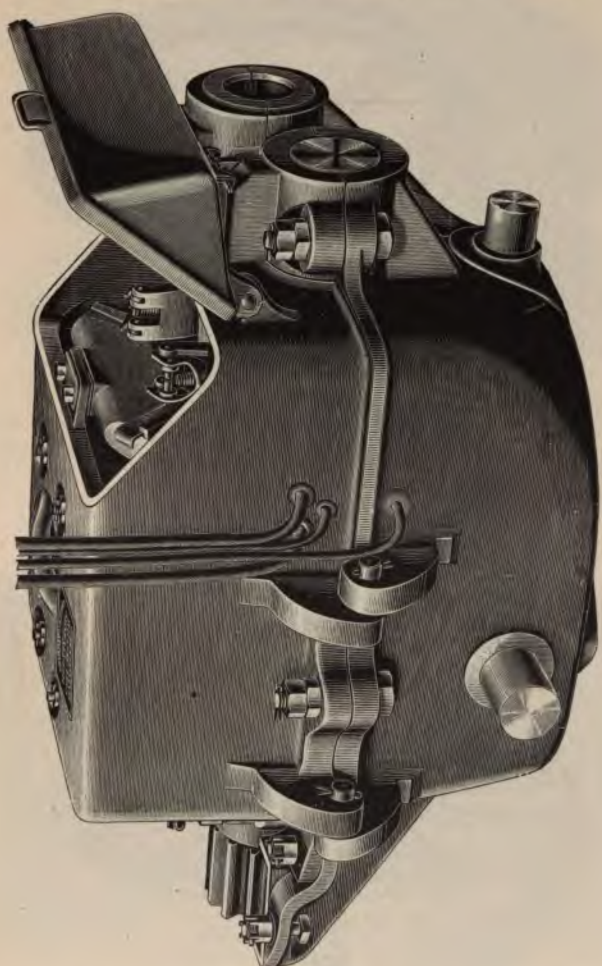


Fig. 286.

der grösseren Leichtigkeit, während die gegossenen eine grössere Haltbarkeit bei grösserem Gewichte besitzen.

In den Fig. 292 und 293 ist die Demontierung eines in der Mittelachse geteilten Motorschutzkastens ersichtlich.

b) Isolation der Motoren.

Bei Bahnen, deren einer Pol an der Erde liegt, d. h. bei denen die Schienen als Stromleitung benutzt werden, ist eine grösstmöglichste Isolation des Motorkörpers gegen den Erdpol anzustreben,



Fig. 287.

weil sonst ein etwa im Motor auftretender Körperschluss zum Kurzschluss führen kann. Alle Berührungsstellen des Motors mit dem eisernen Wagenuntergestell wurden deshalb früher zweckentsprechend mit isolierenden Zwischenlagen versehen. Einige Aufhängungs- und

Übertragungskonstruktionen machen indes die Erfüllung dieser Forderung äusserst schwer, sodass man sich darauf beschränkt hat, die Drahtisolation der Schenkel- und der Ankerwickelungen unter

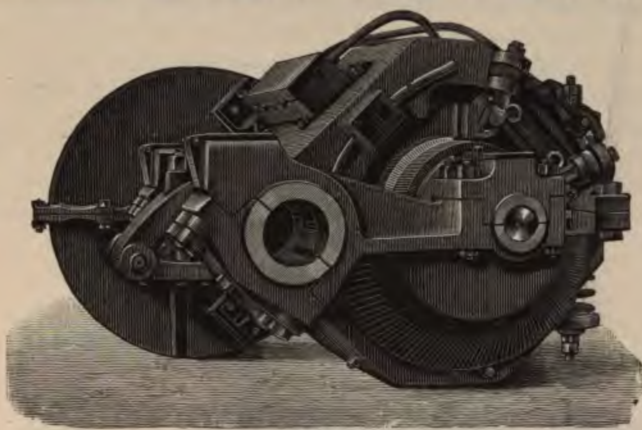


Fig. 288.

sich und gegen den eisernen Motorkörper so sorgfältig herzustellen, dass man die äussere Isolation gut entbehren kann.

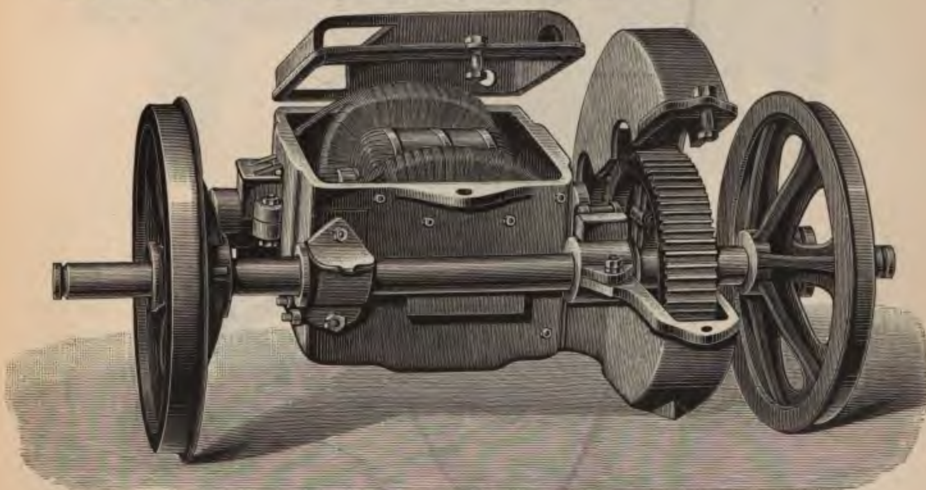


Fig. 289.

c) Konstruktion der Motoren.

Man strebt im allgemeinen dahin, den Nutzeffekt des Motors auf den höchsten Wert zu bringen, um die Betriebskosten nach Möglichkeit niedrig zu halten. Bei stationären Motoren, welche einen

gesicherten und geschützten Standort haben und deren Verschleiss nur minimale Grössen zu verzeichnen hat, spielt in den Gesamtbetriebskosten der spezifische Stromverbrauch eine grosse Rolle; daher ist obengenanntes Bestreben dort am Platze. Bei Strassenbahn-

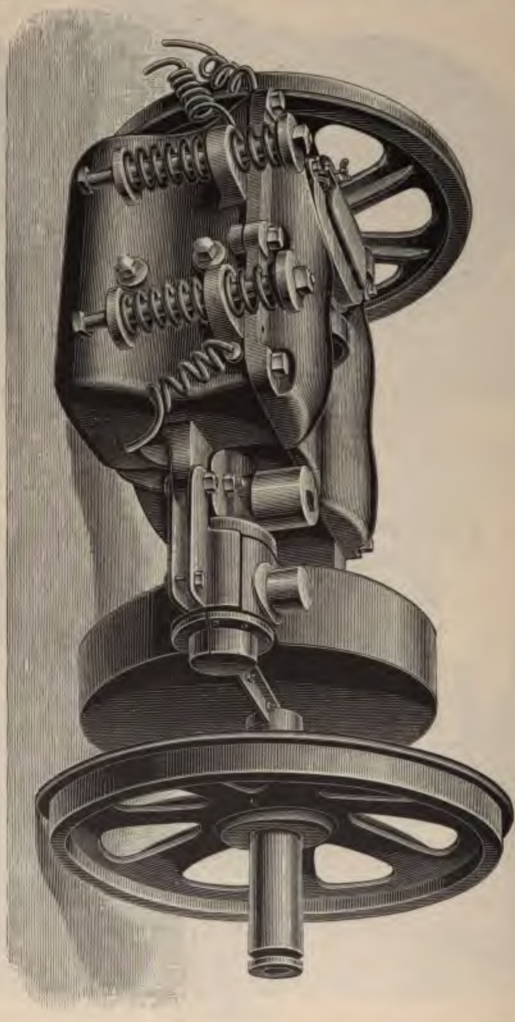


Fig. 290.

motoren sind die Reparaturkosten der Hauptfaktor und diese werden bedingt durch die obwaltenden örtlichen Verhältnisse. Zieht man in Betracht, dass der Elektromotor unter dem Wagen dem Wasser, Schmutz und Staub ausgesetzt ist, dass die Beschädigungen durch

die Stösse und Erschütterungen, denen jeder Teil am Bahnwagen ausgesetzt ist, und dass durch die zufälligen Gefährnisse, denen der ganze Mechanismus ständig ausgesetzt ist, grosse Beanspruchungen für die einzelnen Teile des Motors und für die Gesamtanordnung auftreten, so wird es klar, dass man weniger auf den spezifischen Stromverbrauch sein Augenmerk zu richten hat, als auf solche Faktoren, welche eine besonders dauerhafte äussere Konstruktion gewährleisten. Auf schnelle und leichte Auswechselbarkeit aller Teile am Motor ist daher besonderes Gewicht zu legen. Nicht zum Geringsten hat man mit den vielen intensiven Kraft- und Geschwindigkeitsänderungen zu rechnen und darf nicht ausser Acht lassen, dass

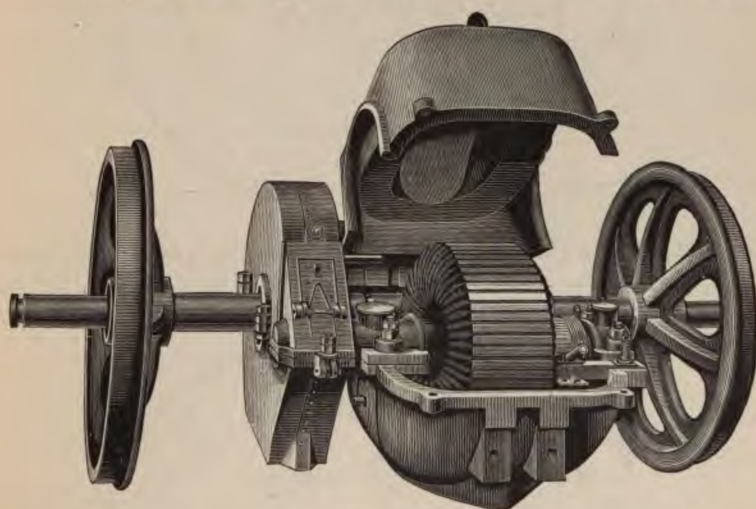


Fig. 291.

der gleiche Mechanismus auch zu Zeiten ein Mehrfaches seiner normalen Leistung hergeben und aushalten muss. Kommt dann noch hinzu, dass derjenige, dem die Führung über den Motorwagen übertragen wird, durch seine augenblicklichen Eigenschaften zeitweilig veränderter Lebenslagen in seiner Leistungsfähigkeit vermindert wird, so treffen gewiss Umstände zusammen, welche es ratsam erscheinen lassen, das Hauptaugenmerk von der peinlichsten Frage des Nutzeffektes für jede Beanspruchung abzulenken und auf diejenigen Umstände zu übertragen, welche dem Charakter des Bahnmotors besser entsprechen, d. h. geringe Reparatur- und Unterhaltungskosten anzustreben durch Anwendung einfacher Konstruktionen.

Sämtliche Arten des Gleichstrommotors sind für Bahnzwecke bereits zur Anwendung gekommen. Der Serienmotor hat sich aller-

dings das Feld erobert, während der Verbundmotor zumeist wieder verlassen wurde. Dem Nebenschlussmotor ist noch eine grosse Zukunft vorherzusagen, wenn es sich, wie bei langen Gefällsstrecken,

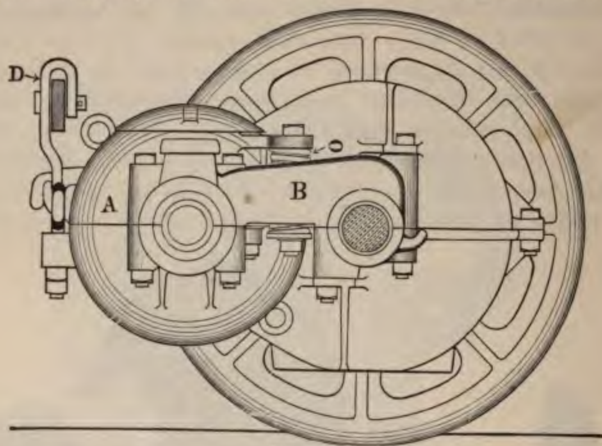


Fig. 292.

darum handelt, den Motor als stromwiedergebende Dynamo zu schalten. Auf die allgemeine Konstruktion der Motoren einzugehen, ist hier nicht am Platze, vielmehr sei zu diesem Zwecke auf das vortreffliche

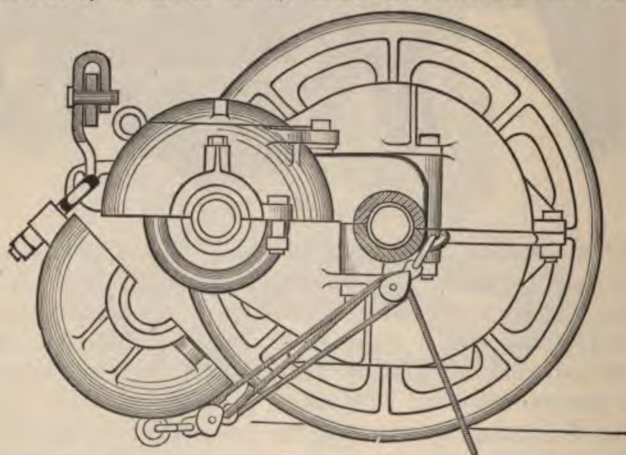


Fig. 293.

Werk von Gisbert Kapp, Elektrische Kraftübertragung (Verlag Julius Springer), verwiesen. Einige charakteristische Merkmale und Unterschiede der drei genannten Motorarten wollen wir hier herausgreifen, um das Verständnis für deren zweckentsprechende Anwendung zu erleichtern.

α) Der Hauptstrommotor.

Die Magnetbewickelung liegt in Reihe (in Serie) mit dem Anker, d. h. dieselbe Stromstärke, welche im Anker herrscht, besteht auch in der Magnetbewickelung. Deshalb besteht die Magnetbewickelung aus wenigen Windungen dicken Drahtes. Sagen wir beispielsweise für einen 500voltigen Serienmotor von 20 Ampère aus 300 Windungen von 10 *qmm* Draht, das würde 6000 Ampèrewindungen ergeben, welche für die magnetisierende Kraft der Polschuhe ausreichen sollen. Für die beiden anderen Motorarten soll die gleiche Ampèrewindungszahl massgebend sein. Es ist bekannt, dass die Magnetbewickelung eines Serienmotors sehr einfach und bei der üblichen Spannung von 500 Volt betriebssicher herzustellen ist. Wenn die mittlere Länge einer Windung bei unserem oben angenommenen Motor, wie er der Wirklichkeit ziemlich entspricht, mit rund 1 *m* gerechnet wird, so wäre der Widerstand der Magnetwickelung $= \frac{0,0185 \cdot 300}{10} = 0,555\ \Omega$, es gehen also bei 20 Ampère Stromstärke darin verloren $E = 20 \cdot 0,555 = 10,1$ Volt. Dieses Potentialgefälle hat also die Magnetspule auszuhalten, woraus die grosse Betriebssicherheit betreffs der Isolation erhellt. Es ist jedoch hier noch der Unterschied zwischen gegenseitiger Isolation der Spulen und der Isolation gegen den fast immer am Erdpol liegenden Motorkörper zu machen. Letztere Isolation, d. h. also der besondere Magnetkasten, auf den die Spulen gewöhnlich aufgewickelt werden, ist besonders sorgfältig auszuführen. Ausserdem bleibt es empfehlenswert, die Schenkelwickelung zwischen Anker und Erdpol zu schalten, um von vornherein geringe Spannungsdifferenz gegen den am Motorgestell liegenden Erdpol zu haben.

Die Anzugskraft ist beim Reihenmotor sehr gross, da mit wachsender Ankerstromstärke auch seine Magnetstromstärke zunimmt, und dementsprechend mehr Ampèrewindungen erzeugt. Es kommt bei der Beurteilung der Anzugskraft eines Elektromotors vor Allem darauf an, dass das magnetische Feld dem Anker gegenüber sehr stark ist, was beim Hauptstrommotor stets zutrifft.

Jeder Elektromotor nimmt bekanntlich beim Betriebe eine solche Umdrehungszahl an, dass er ebenfalls annähernd diejenige Spannung erzeugen kann, welche ihm vom Netz zugeführt wird. Hat der Motor daher eine konstant bleibende Magneterregung, so bleibt auch seine Tourenzahl ziemlich konstant, wenn die Netzspannung gleich bleibt. Hat er aber, wie der Hauptstrommotor, eine mit der Ampèrezahl, also mit der Belastung, schwankende Felderregung, so ist er bei gleichbleibender Netzspannung gezwungen, bei Entlastung bedeutend schneller zu laufen, da er sonst mit seinem nunmehr

schwachen Felde die Spannung nicht mehr zu erzeugen vermag. Ein Hauptstrommotor wird also bei konstanter Netzspannung bei halber Belastung die doppelte Umdrehungszahl wie bei Vollbelastung machen. Um dies zu verhindern, benutzt man die später erläuterten Schaltungsweisen für den Motorwagen.

β) Der Nebenschlussmotor.

Die Magnetbewickelung liegt im Nebenschluss (parallel) zum Anker, d. h. die der Maschine zugeführte Stromstärke teilt sich in den Ankerstrom und den sehr geringen Magnetstrom gemäss dem jeweiligen Widerstande des Leitungszweiges. Deshalb besteht die Magnetbewickelung aus sehr vielen Windungen dünnen Kupferdrahtes. Da auf den Magnetschenkeln eine spezifische Strombelastung von 2 Ampère für das Quadratmillimeter Kupferdraht-Querschnitt nicht überschritten werden soll, um bei Dauerbelastung keine schädliche Erwärmung zu erhalten, so ist der Querschnitt des Drahtes für diese Belastung unter Berücksichtigung der Ampèrewindungszahl von 6000 zu berechnen. Isolationsrücksichten, Festigkeit des Drahtes, leichte Bearbeitungsfähigkeit und Unterbringung im vorhandenen Raume sollen bei Bestimmung der Drahtstärke neben den rein elektrotechnischen Grundsätzen massgebend bleiben. Vom Anfang bis zum Ende der Spule findet das gesamte Potentialgefälle der Netzspannung statt, woraus erkenntlich ist, dass die Isolierung der Drahtspulen gegeneinander, sowie auch gegen den Motorkörper mit besonderer Sorgfalt zu erfolgen hat.

Die Anzugskraft ist bei zweckmässiger Bauart eine gute, steht indes dem Serienmotor bezüglich seiner Regulierungseinfachheit etwas nach. Da das magnetische Feld des Nebenschlussmotors ein konstantes, vom Hauptstrom im Anker unabhängiges ist, so ist derselbe weniger gut in der Lage, Überlastungen anzuziehen. Sofern man aber den Nebenschluss reguliert, ist man imstande jede beliebige, für den Strassenbahnmotor in Betracht kommende Anzugskraft zu erreichen.

Die Umdrehungsschwankung des Nebenschlussmotors, der mit gleichbleibender Netzspannung gespeist wird, bleibt innerhalb 3—4% konstant, da das Magnetfeld konstant bleibt.

γ) Der Verbundmotor.

Die Magnetbewickelung ist eine Vereinigung zwischen Hauptstrom- und Nebenschlusswickelung. Dieselbe tritt in zwei Schaltungen auf, erstens wenn die Verbundwickelung so liegt, dass sie die Wirkung der Nebenschlusswickelung verstärkt, und zweitens wenn sie dieselbe schwächt.

Bei verstärkender Wickelung vereinigt dieser Motor die guten Eigenschaften des Haupt- und Nebenschlussmotors in abgeschwächter Form. Zunächst sei bemerkt, dass es für die Wirksamkeit des Motors gleichgiltig ist, ob der Hauptstrom sich am Anfang der dicken Bewickelung teilt, oder ob man den Nebenschluss nur parallel zum Anker legt.

Die Anzugskraft des Verbundmotors steht zwischen seinen Vorgängern. Je mehr dicke Windungen er besitzt, desto besser wird er anziehen und Überlastungen aushalten, je mehr dünne Wickelungen er besitzt, desto gleichmässiger wird die Umdrehungszahl sein.

Die Umdrehungsschwankung wird geringer sein als beim Hauptstrommotor und grösser als beim Nebenschlussmotor. Der Verbundmotor lässt sich je nach der Anzahl der variablen Ampèrewindungen mit 15—20% Schwankungen in der Umdrehungszahl herstellen.

Bei schwächender Wirkung ist die Anzugskraft ausserordentlich gering, denn bei einer gewissen Anzahl dicker Windungen ist es theoretisch und praktisch sehr wohl möglich, gar kein Drehmoment zu erzielen, selbst bei leer anlaufendem Motor.

Die Umdrehungsschwankung dieses Motors kann durch Abgleichung seiner Verbundwickelung so gestaltet werden, dass er absolut gleiche Touren bei jeder Belastung innehält. Vom praktischen Standpunkte aus betrachtet, ist aber ein solcher Motor seiner geringen Anzugskraft halber für Bahnzwecke ganz zu verwerfen und thatsächlich, wo man ihn anzuwenden versucht hat, wieder verlassen worden.

Für die jemalige Wahl des geeignetsten Motors bleiben die Verhältnisse massgebend, die für die Umlaufsschwankung und die Anzugskraft bezw. Überlastungsfähigkeit bestimmt sind.

Von grosser Wichtigkeit und Schwierigkeit ist die Bestimmung über Fahrgeschwindigkeiten und Stromstärken der Wagenmotoren in den verschiedenen Steigungen, weil die beiden variablen Grössen, die Zugkraft und der magnetische Sättigungsgrad, von welchen der letztere selbst wiederum eine Funktion der Zugkraft ist, in Betracht zu ziehen sind.

Auf rein rechnerischem Wege wäre eine Lösung in der That so zeitraubend, dass in der Praxis daran kaum zu denken ist. Um so einfacher gestaltet sich auch hier die Sache bei dem graphischen Verfahren. Wir folgen hier einigen sehr beachtenswerten Vorschlägen von J. Fischer-Hinnen[1]) und fügen ein Beispiel bei, welches den praktischen Verhältnissen sehr gut entspricht.

---

[1]) Veröffentlicht in der ETZ 1894, Heft 29.

Bei der Fabrikation und Konstruktion eines Wagenmotors werden von den bauenden Firmen die verschiedensten Typen mit den jedesmaligen Erfahrungen gebaut. In den von den Firmen zu liefernden Normalskalen für die Typen müssen die Motoren nach ihren Zugkräften geordnet sein. Die Angabe der Pferdestärken ist viel weniger von Wichtigkeit, denn wenn z. B. ein Motor von 16 PS gerade ausreicht, um einen Wagen von einem bestimmten Gewichte mit 13 *km/St* Geschwindigkeit in der Minute eine bestimmte Steigung hinaufzubefördern, so würde mit der halben Leistung, also mit 8 PS, der Wagen die halbe Geschwindigkeit haben. Da der Motor alsdann nur die halbe Tourenzahl wie vorher machen würde, so dürfte derselbe nicht mehr genügen.

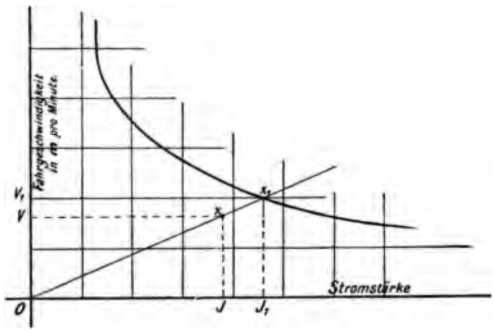


Fig. 294.

Ist die Motortype einmal angenommen, so mag zur Bestimmung der Fahrgeschwindigkeit und Stromstärke bei verschiedenen Zugkräften folgende einfache Methode benutzt werden:

Man beschafft sich eine Charakteristik des Motors, bezogen auf Stromstärke und Tourenzahl. Diese Kurve wird man sich ein- für allemal für ähnliche Zwecke in grösserer Zahl herstellen, und zwar reduziert man der Einfachheit halber gleich die Tourenzahl auf die Fahrgeschwindigkeit des Wagens in der Minute. (Siehe Fig. 294.)

Wir wollen mit P das Gewicht des Wagens in Tonnen, mit V die Fahrgeschwindigkeit in Meter für die Minute bezeichnen, α sei der Bahnwiderstand (variiert bei Strassenbahnen gewöhnlich zwischen 10—12), β die Steigung in pro Mille, ferner bedeute η den Nutzeffekt des Motors und E die Bürstenspannung (gewöhnlich 500 Volt).

Für irgend eine Steigung β und Geschwindigkeit V erhält man eine Stromstärke

$$J = \frac{P \cdot V\,(\alpha + \beta)\;9{,}81}{60\,E \cdot \eta},$$

V ist zwar nicht bekannt, hat auch nichts zu sagen, da J im direkten Verhältnisse mit V zunimmt. Man setze vorläufig für V einen be-

liebigen annähernden Wert ein, berechne hieraus J und ziehe durch den gefundenen Punkt x und den Koordinaten-Anfangspunkt O eine Gerade, bis sie die Charakteristik im Punkte x_1 schneidet.

Die Koordinaten dieses Punktes entsprechen alsdann den gesuchten Werten von J_1 und V_1.

Zu bemerken ist bei dieser Gelegenheit, dass auch die Grösse η nicht genau bekannt ist und schätzungsweise angenommen werden muss, doch sind die Fehler, welche durch eine etwa unzutreffende Annahme von η entstehen können, nur von nebensächlichem Einflusse und lassen sich, wie nachstehend an einem konkreten Falle gezeigt wird, beinahe ganz vermeiden.

Beispiel. Es soll in einem bestimmten Falle berechnet werden, wie sich der Stromverbrauch und die Fahrgeschwindigkeit eines Motorwagens für 32 Personen auf verschiedenen Steigungen gestalten. Die maximale Steigung betrage $50^0/_{00}$. Den Bahnwiderstand wollen wir zu 10 *kg* für die Tonne annehmen. Das Gesamtgewicht der Wagen setzt sich nun, wenn man vorläufig das Gewicht der elektrischen Ausrüstung schätzungsweise einsetzt, wie folgt zusammen:

Gewicht des Wagens allein .	2,80 Tonnen,
» der elektr. Ausrüstung	1,40 »
» der Personen . . .	2,24 »
zusammen	6,44 Tonnen.

Maximale Zugkraft = (10 + 50) 6,44 = 386 *kg*.

Es ist nun zu untersuchen, ob die für eine solche Leistung bemessene elektrische Ausrüstung das obige Gewicht besitze, event. ist die Berechnung für die neue Annahme noch einmal zu machen.

Es sei hier vorausgesetzt, die erste Annahme sei richtig, ferner besitze der gewählte Motor die aus Fig. 294 ersichtliche Charakteristik.

Mittlere Bürstenspannung = 500 V,

Nutzeffekt bei maximaler Belastung = 82 %.

$$\text{Mithin ist } J = \frac{6{,}64\ V\ (\alpha + \beta)\ 9{,}81}{60 \cdot 500 \cdot 0{,}82} = 0{,}00256\ V\ (\alpha + \beta).$$

Nimmt man beispielsweise V = 195 *m* in der Minute an, so erhalten wir folgende, für die Berechnung bequeme Formel

$$J = 0{,}5\ (\alpha + \beta),$$

welcher allerdings der maximale Nutzeffekt von 82 % zu Grunde liegt.

Wäre der letztere konstant, und wäre ferner die Fahrgeschwindigkeit auf allen Steigungen konstant = 195 *m*, so hätte man

	bei 6,44 Tonnen	bei 1 Tonne
für $\beta = 0^0/_{00}$	J = 5 A	= 0,77 A
$\beta = 10$ »	J = 10 »	= 1,54 »
$\beta = 20$ »	J = 15 »	= 2,33 »
$\beta = 30$ »	J = 20 »	= 3,08 »
$\beta = 40$ »	J = 25 »	= 3,88 »
$\beta = 50$ »	J = 30 »	= 4,62 »

d. h. für je $10\,^0/_{00}$ Steigung 5 A bei 6,44 Tonnen und 0,77 Ampère bei 1 Tonne mehr als in der Ebene. Um daraus die wirkliche Geschwindigkeit und die dieser Geschwindigkeit entsprechende Stromstärke zu finden, würde man die Punkte mit den Ordinaten

$$y = 195 \text{ und } x = J$$

auftragen (siehe Fig. 295) und mit dem Koordinaten-Anfangspunkte verbinden. Die Koordinaten der Schnittpunkte dieser Geraden mit der Charakteristik können dann als erste Annäherungswerte gelten.

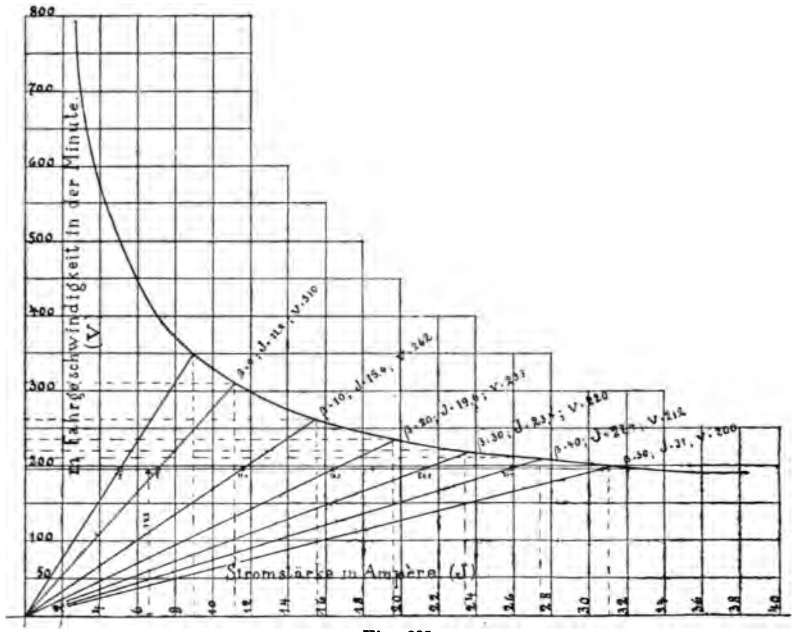


Fig. 295.

In der That genügt diese Methode in der Regel vollständig, um so mehr, wenn man für η nicht den maximalen, sondern den mittleren Nutzeffekt einsetzt.

Sehr genaue Resultate sind auf folgende Weise erhältlich: Wir sehen, dass die maximale Stromstärke, d. h. diejenige, bei welcher $\eta = 0{,}82$ wird, 31 A beträgt. In der Ebene sind dann noch ca. 9 A, d. h. ca. 30 % der Maximalleistung erforderlich.

Nehmen wir hier den Nutzeffekt noch zu 58,5 % an (eine Zahl, die nur zur besseren Darstellung so klein gewählt wurde, in Wirklichkeit ist sie erheblich höher), so wird für $\beta = 0$

$$J = 5 \cdot \frac{82}{58{,}5} = 7 \text{ A},$$

oder 2 A mehr als oben berechnet wurde.

Für $\beta = 50$ ist die Differenz gleich Null.

Um also bei der Geschwindigkeit 195 die richtigen »Hilfs«-Stromstärken zu finden, haben wir, von dem Punkte $\beta = 50$ ausgehend, für je $10^0/_{00}$ Steigungsdifferenz zu den oben ausgerechneten Stromstärken noch

$$\frac{2 \times 10}{50} = 0,4 \text{ A}$$

zu addieren, d. h.

		bei 6,44 Tonnen	bei 1 Tonne
$\beta = 50^0/_{00}$	$J = 30$		$= 4,62$ A,
$\beta = 40$ »	$J = 25 + 0,4 = 25,4$		$= 3,94$ »
$\beta = 30$ »	$J = 20 + 0,8 = 20,8$		$= 3,23$ »
$\beta = 20$ »	$J = 15 + 1,2 = 16,2$		$= 2,51$ »
$\beta = 10$ »	$J = 10 + 1,6 = 11,6$		$= 1,80$ »
$\beta = 0$ »	$J = 5 + 2 = 7,0$		$= 1,09$ »

Im übrigen bleibt die weitere Behandlungsweise die gleiche.

In Gefällen unter $10^0/_{00}$ ist β von α zu subtrahieren.

Die verschiedenen Arbeitsleistungen, welche an einen Wagenmotor zu stellen sind, harmonieren ebensowenig mit einem hohen Nutzeffekt des Motors, wie die konstruktive Ausgestaltung desselben. Die Ausnutzung der gesamten Adhäsionslast eines Motorwagens für anzuhängende Beiwagen, die Wiedergewinnung der Arbeit bei der Thalfahrt in Form von elektrischem Strom und die Bremsung des Wagens bis zum Stillstand mittels magnetischer oder elektrischer Bremsen führt zur Anwendung eines solch starken Motors, dass durch den Antrieb desselben die Räder auf den metallisch blanken, trockenen Schienen ins Rutschen gebracht werden können, wenn der Wagen am Zughaken festgehalten wird, wobei die Erwärmung des Motors bei 10 Minuten derartiger Belastung nicht 50° C. der Umgebungstemperatur überschreiten darf.

Reicht die motorische Kraft des Motorwagens aus, um die Adhäsion zwischen dem Radkranz und der metallisch blanken Laufschiene zu überwinden, so ergiebt sich sogar für die Notbremsung mittels Gegenstromes keine Gefahr für den Motor und das gesamte Getriebe. Es soll darum nicht behauptet werden, dass ein Rückwärtsdrehen der Räder bei der Vorwärtsfahrt des Wagens eine bessere Bremswirkung hervorbringt, als etwa feststehende Räder oder sich gerade noch vorwärts drehende, vielmehr wird der Vorteil beleuchtet, mit den Motoren jede beliebige Manipulation vornehmen zu können, ohne befürchten zu müssen, dass der Motor überlastet wird. Die Betriebsverhältnisse drängen nur zu oft zu der vollen Ausnutzung der zu Gebote stehenden Mittel und darum muss beim Bau die grösstmöglichste Ausnutzung vorgesehen werden.

Die Stromwiedergewinnung ist hervorgerufen durch das rein technische Sparsamkeitsgefühl, dessen Befriedigung bei elektrischen

Bahnen so nahe liegt, wie nur irgend etwas. Wenn man weiss, dass Dynamo und Motor dieselbe Maschine ist, dann weiss man auch, dass die Lösung dieses Problems möglich ist und vorteilhaft sein muss. Da wir in Deutschland diese Frage an der Barmer Bergbahn glücklich und vollkommen gelöst vorfinden, so ist diese Forderung aus dem Betrieb heraus ohne weiteres gerechtfertigt. Ob dieses Ziel mittels der bisher allgemein üblichen Hauptstrommotoren, die für diesen Zweck mit besonderer Akkumulatoren-Erregung arbeiten können, oder der in mancher Beziehung vorteilhafter arbeitenden Nebenschlussmotoren erreicht werden kann, ist gleichgiltig.

Die Anwendung von Nebenschlussmotoren für Strassenbahnbetrieb ist sehr vereinzelt erfolgt, weil der Hauptvorteil der leichten Stromwiedergewinnung erst bei solchen Gefällsverhältnissen wirtschaftlich ist, die bei Strassenbahnen selten vorkommen. Luxenberg (ETZ 1897, Heft 18, S. 259) rechnet aus, dass erst bei einer mittleren Steigung von über $2^1/_2$ % ein wirtschaftlicher Vorteil in der Verwendung von Nebenschlussmotoren liegt.

Die vielfach verbreitete Ansicht, dass der Nebenschlussmotor für Bahnen keine genügende Angehzugkraft besitzt, ist falsch, da man durch geeignete Dimensionierung die Ankerwindungszahl und die magnetische Induktion, welche auf die Zugkraft von Einfluss sind, so wählen kann, dass die Anfahrzugkraft dem Hauptstrommotor nicht nachsteht.

Bei Bahnen mit reinem Akkumulatorenbetrieb lässt der Nebenschlussmotor alle seine guten Eigenschaften zur Geltung kommen und fand hier mehrfach Anwendung. (Charlottenburg-Berlin, Paris.)

d) Aufhängung des Motors.

Der Motor, welcher elastisch gelagert werden muss, wird zum Teil von der Achse selbst, zum Teil vom gefederten Wagenuntergestell getragen, um die empfindlichsten Teile desselben vor den harten Schlägen zu bewahren. Die Isolation der Wickelungen sowohl am Elektromagnet, als auch am Anker leidet unter den Einflüssen der Vibration. Um mithin die durch die Schienenstösse hervorgebrachten Erschütterungen und die durch die Gleisunebenheiten bedingten Schwankungen des Wagens möglichst abzuschwächen, ist die durch Sprague eingeführte und bisher am meisten angewandte federnde

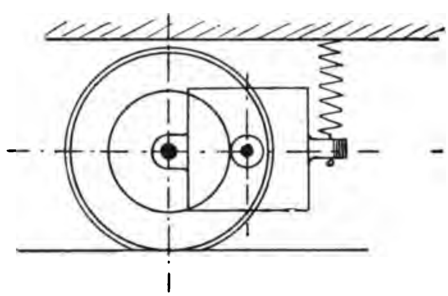


Fig. 296.

Aufhängung eines Motorendes üblich. Bei Zahnradantrieb liegt die Konstruktion der elastischen Aufhängung sehr nahe, indem der Radius des Schwingungskreises des Motormittelpunktes gleich der Centrale der ineinander greifenden Zahnräder ist. Fig. 296 stellt diese einfache Anordnung schematisch dar. Bei Kettenantrieb und bei Schneckenantrieb ist die Anordnung ebenfalls naheliegend und

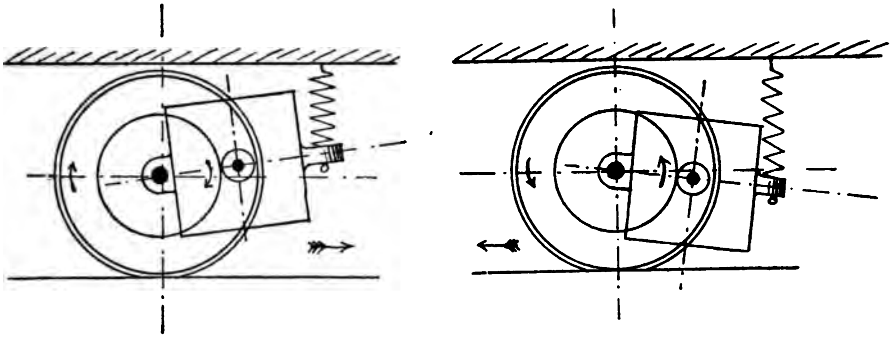


Fig. 297.

einfach. Ausser der elastischen Lagerung des Motors wird durch diesen Umstand noch ein elastisches Anfahren ermöglicht, indem der Motor die durch Fig. 297 bezeichneten Stellungen bei grossen Kraftschwankungen einnehmen kann und durch sein Gewicht eine Kraftaufsammlung bewirkt. Treibt man beide Achsen durch einen Motor an, so ist bei Zahnradantrieb eine elastische Anordnung des Motors schon umständlicher, jedoch vereinzelt durchgeführt worden.

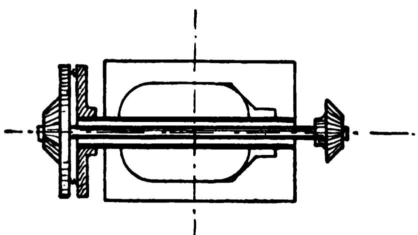


Fig. 298.

Erhält der Motor eine hohle Achse, welche soviel Zwischenraum lässt, dass die durchgeführte Welle nach oben und unten wenige Centimeter Spielraum hat, Fig. 298, dann ist die Beweglichkeit des Motors gewahrt. Eine elastische Kuppelung zwischen hohler Motorachse und der Übertragungswelle kann von beliebiger und bekannter Konstruktion sein. Eine Anordnung für derartigen Antrieb ist durch Fig. 299 und 300 erläutert.

Die Aufhängung des Motors im Schwerpunkt ist eine für alle obigen Konstruktionen erstrebenswerte Anordnung und hat den Vorzug, dass die Schläge der Gleisunebenheiten in abgeschwächtem

Zustande auf den Motor übertragen werden. Eine diesbezügliche Ausführungsform zeigt Fig. 301, bei welcher das angegossene Rad-

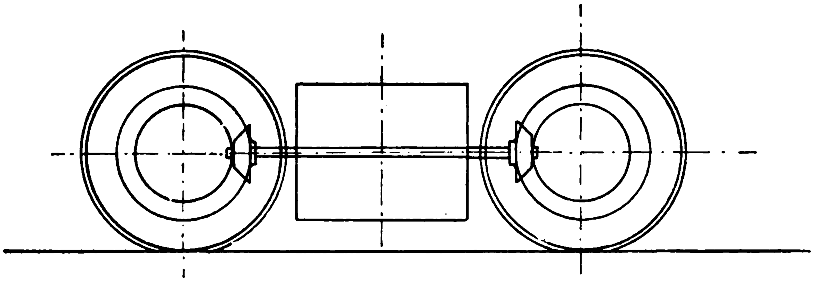


Fig. 299.

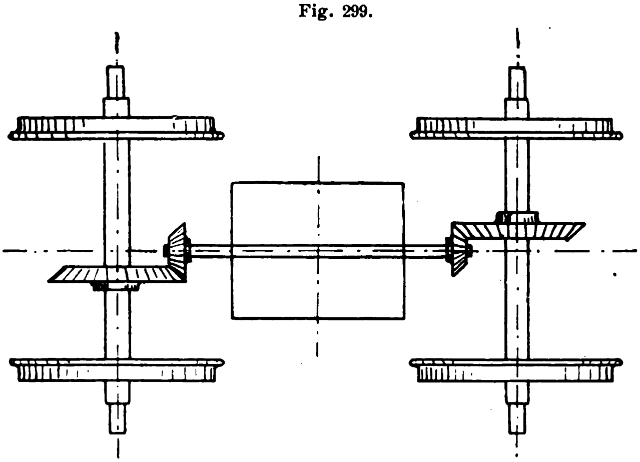


Fig. 300.

achslager am Motor nur zur Centrierung, nicht aber zum Tragen dient. Ein weiterer Vorteil ist die Verminderung der belasteten Lagerstellen und demnach eine Ersparnis an zu ölenden Stellen. Diese Aufhängung stammt von der Westinghouse- und der Thomson-Houston-Gesellschaft.

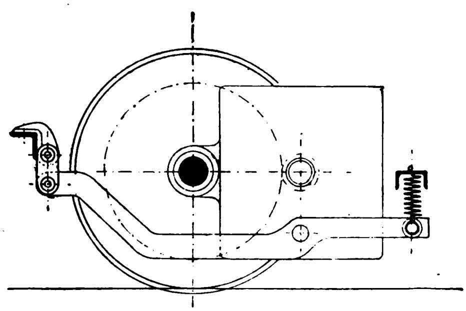


Fig. 301.

In Fig. 302 ist die Walker'sche Aufhängung schematisch und in Fig. 303 bildlich dargestellt und zeigt eine glückliche Vereinigung zwischen der Sprague'schen und der ebenbeschriebenen Aufhängung.

e) Übertragungsmechanismus.

Alle bisher zur Anwendung gekommenen Kleinbahn-Wagenmotoren besitzen hohe Tourenzahlen, und können daher nicht direkt mit der Triebachse gekuppelt werden. Die natürlichste Konstruktion wäre allerdings die, wenn die Radachse mit der Ankerachse des Motors zusammenfiele, was aber nur für Bahnen mit grosser Geschwindigkeit, d. h. Fernbahnen mit 60—100 *km* in der Stunde, geeignet ist. Erst dann passen, entsprechend seinen Grössenverhältnissen, seiner Kraftleistung, seiner Umdrehungszahl und seinem Nutzeffekt, die Betriebsverhältnisse des Motors gut. Für geringe Geschwindigkeit,

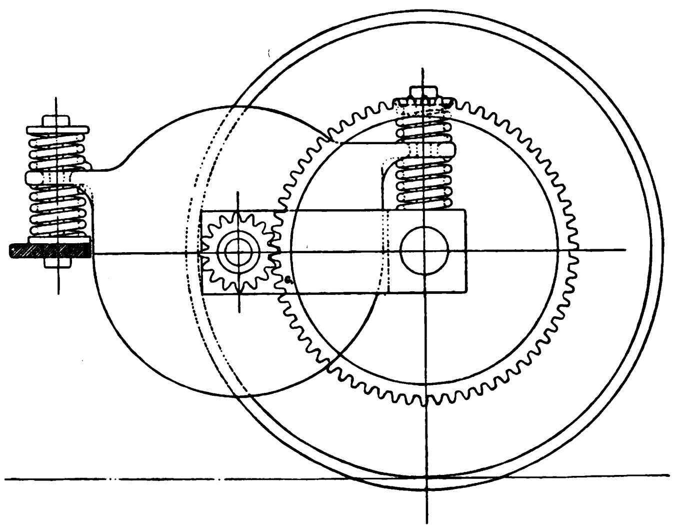


Fig. 302.

wie solche den Kleinbahnen zukommt, sind die Konstruktionsverhältnisse nicht so günstig, da Elektromotoren hierfür, der geringen Umdrehungszahl wegen, nicht mit brauchbarem Nutzeffekt arbeiten. Es sind daher verschiedene Übertragungen zwischen Motorachse und Triebachse bezw. Wagenachse in Anwendung gekommen. Als langsam gehende Motoren für Bahnzwecke bezeichnet man schon solche, welche 400 Umdrehungen in der Minute machen. Für diese Umdrehungszahlen genügt in der Regel für Strassenbahnen ein Übersetzungsverhältnis von 1 : 3, oder 1 : 4, oder 1 : 5, sodass es möglich ist, mit einer Übersetzung auszukommen. Ältere Typen bedurften noch zweier Übersetzungen.

Am meisten findet Zahnradübertragung durch Kammräder statt.

Fig. 304 stellt ein solches Getriebe dar. Das den Zahnrädern anhaftende Geräusch hat man vereinzelt durch Kammräder mit Winkelzähnen vermindert. Gewöhnlich lässt man verschiedene Materialien

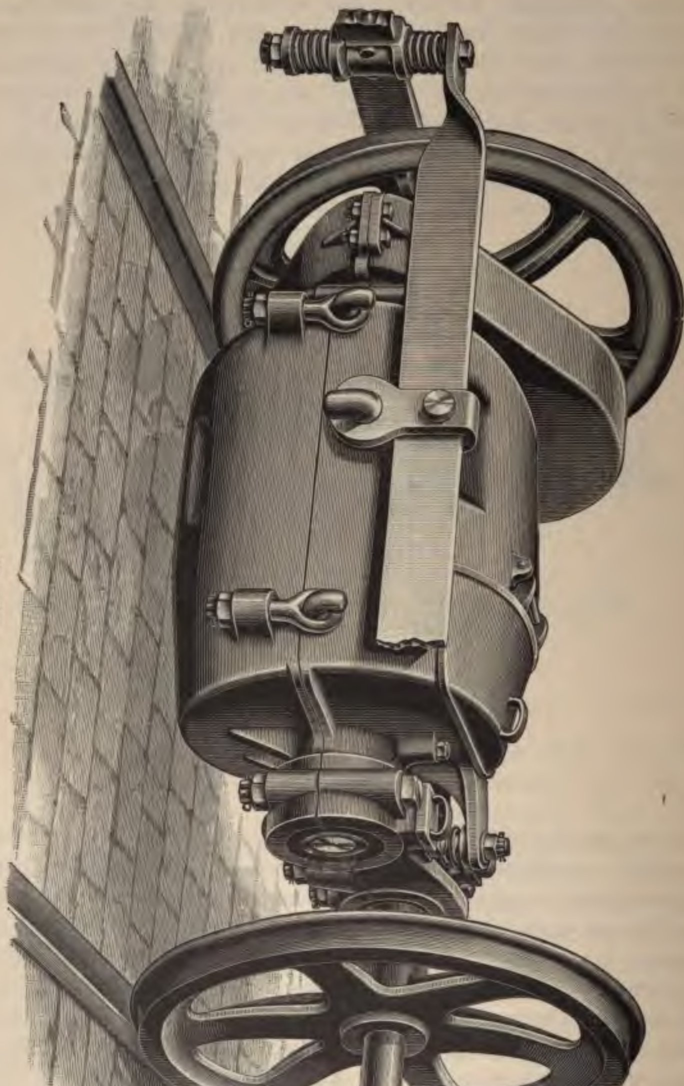


Fig. 303.

aufeinander arbeiten und verwendet vorteilhaft für das Laufachsenzahnrad, welches zumeist zweiteilig hergestellt wird, Gussstahl. Das Ankertriebrad soll aus weicherem Material hergestellt werden und findet bei grossem Zahndruck Bronze, bei geringerem Zahndruck Rohhaut (Leder), wie Fig. 305 ein solches Rad darstellt, zweckentsprechende Anwendung. Eine geringe Abnutzung der Zahnräder wird dadurch erreicht, dass ein dichter Schutzkasten das Getriebe umschliesst, in welchem sich konsistente Schmiere befindet. Ausschleissende Mittel, wie Staub u. s. w., können alsdann nicht zur Zahneingriffsstelle gelangen. Wichtig ist noch, alle Muttern, Schrauben, Keile, Splinte so zu sichern, dass sie sich nicht lockern

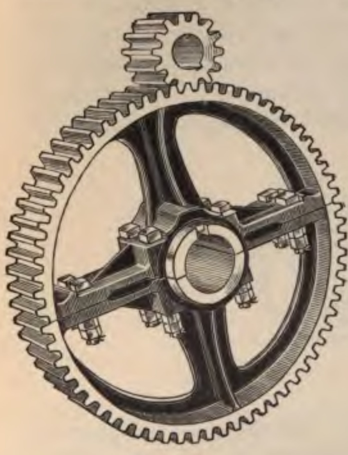


Fig. 304.

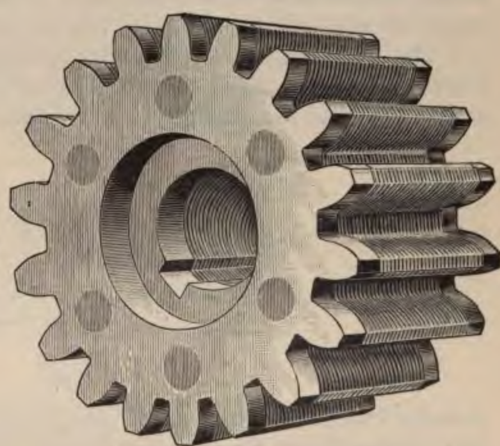


Fig. 305.

können, wodurch vermieden wird, dass derartige Teile in das Getriebe kommen. Ebenso selbstverständlich wie dieses ist, ebensoviel ist hierbei schon gesündigt worden, da viele Konstrukteure wenig Rücksicht auf die andauernden Stösse und Vibrationen nehmen, denen der Wagenmotor ausgesetzt ist. Um selbst bei abgenutzten Zahngetrieben stets den für Nutzeffekt und Geräuschverminderung günstigsten Zähneingriff zu haben, wenden Siemens & Halske eine durch Excenterringe nachstellbare Centralenverkürzung an. Hierdurch ist es ermöglicht, sehr kleine Zahnteilung anzuwenden, sodass stets mehrere Zähne zugleich im Eingriff stehen.

Nächst der Zahnradübertragung haben sich Ketten- und Schneckenrad-Übertragungen gut bewährt.

Die Kette ist nach Art der Gall'schen Ketten konstruiert. Besonderes Gewicht ist bei deren Konstruktion auf eine geringe Abnutzung zu legen, was durch möglichst grosse und günstig gewählte

Reibungsflächen erreicht wird. Betreffs Schmierung und Einkapselung gilt das Gleiche wie beim Zahnradbetrieb. Für den im Betrieb grösser werdenden Durchhang der Kette muss bei der Form des Öl- und Schutzkastens Rücksicht genommen werden.

Die Kettenübertragung gestattet eine grosse Konstruktionsfreiheit bei Unterbringung der Motoren im Wagenuntergestell, desgleichen begünstigt sie die Forderung, den Motor vom eisernen Untergestell des Wagens gut isoliert zu halten. Beide Bedingungen mussten bei den ersten Konstruktionen eingehalten werden und sind erst mit der Zeit überwunden worden.

Die Übertragung mit Schneckenrad und Schnecke giebt bei guter Konstruktion beider Teile einen sehr hohen Nutzeffekt sowohl für den Motor als auch für das Getriebe und erfordert geringe Betriebskosten.

Die eingängige Schnecke oder Schraube ist ihrer Selbsthemmung wegen nicht anwendbar, obgleich das mit ihr erreichbare Übersetzungsverhältnis nicht ungünstig für die Umlaufzahl schnelllaufender Elektro-

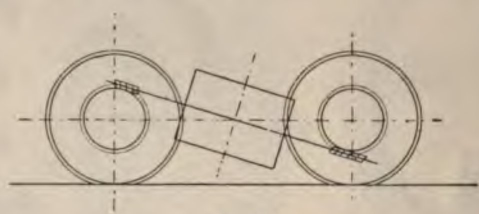


Fig. 306.

motoren wäre. Zwei- und dreigängige Schrauben entsprechen den Forderungen für unsere Zwecke vollkommen, da es alsdann möglich ist, den Wagen ohne Strom bergab laufen zu lassen und denselben ziehen oder schieben zu können. Die Anwendung der eingängigen, selbsthemmenden Schnecke kann erfolgen, wenn man das Schneckenrad von der Wagenachse ausrückbar machen würde, was auf einfache Art durch magnetische Kuppelungen zu erreichen ist. Um den Druck im Kammlager der Schneckenachse aufzuheben, ordnet man eine Gegenschnecke auf der zweiten Wagenachse an. Greift die erste Schnecke oben an, dann muss die zweite Schnecke unten angreifen, wie Fig. 306 zeigt. Die Schnecken haben in diesem Falle Rechts- und Linksgang. Die Motorachse, welche in der Längsrichtung des Wagens liegen muss, wird hierbei je nach der Fahrrichtung des Wagens entweder auf Zug oder auf Druck beansprucht. Die schräge Lage des Motors, welche durch diese Konstruktion bedingt wird, giebt zu Bedenken Veranlassung, welche verschwinden, wenn die Achse des Motors eine vollkommen horizontale Lage einnehmen kann. (Fig. 307.)

Man muss darüber verwundert sein, dass für die Übertragung vom Motor zur Triebachse der für elektrische Wagen so äusserst geeignete Antrieb mittels Schnecke und Schneckenrad (Schraube und Schraubenrad) keine grössere Verwendung gefunden hat.

Zieht man in Betracht, dass man Motoren mit hohen Tourenzahlen, mithin also leichte Motoren, anwenden kann, und dass die Anordnung des Motors unter dem Wagen sich äusserst günstig gestalten lässt, so muss man auch einige Nachteile mit in den Kauf nehmen können, die der Natur des Schneckentriebes anhaften.

Als solche sind die schädlichen Reibungsverluste sowohl zwischen den arbeitenden Flächen, als auch zwischen den Lagerflächen zu nennen. Der schädliche Druck in Richtung der Ankerachse, den man durch Spurlager, Kammlager oder auch Kugellager aufzunehmen bemüht ist, bleibt unzertrennbar vom Schneckentrieb und ist nur auf Kosten anderer, mehr oder weniger grosser Verluste, zu decken. Durch die Bedingung, dass jeder Schneckentrieb am Wagen auch

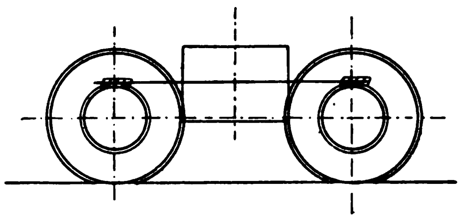


Fig. 307.

rückläufig sein muss, um den Wagen ziehen oder stossen zu können und um bei der Thalfahrt keine Selbsthemmung bei stromlosem Motor zu haben, ist für die Konstruktion der Schnecke der Steigungswinkel und mit diesem die Druckkomponente in der Richtung der Laufachse gegeben.

Die Rückläufigkeit der Schnecke ergiebt sich ausserdem aus Rücksichten auf Anordnung und Konstruktion. Erstens darf das Schneckenrad nur so gross sein, dass zwischen Unterkante, Radkasten und Erdoberkante gehöriger Spielraum von mindestens 10 *cm* bleibt. Zweitens ist durch die Tourenzahl des Motors das Übersetzungsverhältnis und durch die Zugkraft desselben die Schrauben-Reibungsfläche und das Biegungsmoment für den Schneckengang und für den Schneckenradzahn gegeben. Unter Berücksichtigung aller dieser Verhältnisse ergiebt sich im günstigsten Falle eine zweigängige Schnecke mit ungefähr 30° Steigung.

Der Nutzeffekt eines solchen Getriebes hat sich trotz der auftretenden Reibungsverluste als äusserst günstig erwiesen, und bliebe für einen Verbesserungsvorschlag nur noch übrig, das Augenmerk des Konstrukteurs auf die Entlastung der reibenden Flächen zu lenken.

Um die gleitende Reibung zwischen Schnecke und Schneckenrad in rollende Reibung zu verwandeln, sind schon mehrfach Vorschläge gemacht worden, Walzen oder Kugeln einzuschalten. Diese Vorschläge sind leider nicht über das Versuchsstadium hinausgekommen,



Fig. 308.

weil vielleicht noch die obenangeführten anderen Schwächen für die Ausbreitung der Schnecke hindernd im Wege standen.

Zur Entlastung des Längsdruckes beim Schneckenantrieb ist die Einfügung des von der Maschinenfabrik Oerlikon zuerst konstruierten Entlastungsapparates angebracht. Dieser Apparat wurde zuerst an-

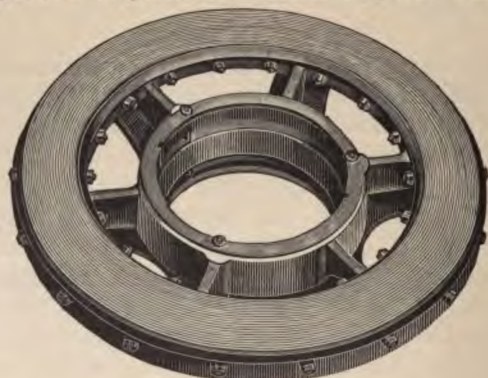


Fig. 309.

gewandt, um den Unterwasserzapfen der Turbinen zu entlasten. Er besteht in seiner einfachsten Form aus einem, dem Magnetfelde einer gewöhnlichen Oerlikon-Wechselstrommaschine ganz ähnlichen kranzförmigen Systeme von Magnetpolstücken, welche durch eine einzige Spule erregt werden. Dieser Kranz von Elektromagneten, Fig. 308, oder vielmehr dieser Elektromagnet mit seinem Kranz von

in ihrer Polarität abwechselnden Polstücken, ist mit dem Elektromotor oder sonst mit einem Widerlager fest verbunden. Die erregende Spule ist somit auch ruhend, und die Zuführung des Gleichstromes erfordert keine Schleifringe und Bürsten, sondern nur zwei feststehende Drahtverbindungen.

Vor den Polen des ruhenden Elektromagneten rotiert, mit der Schneckenwelle fest verbunden der Anker, welcher im wesentlichen aus einem an Breite den Polen gleichen, aus Eisenband gebildeten Ringe besteht. Dieser Anker (Fig. 309) bildet den magnetischen

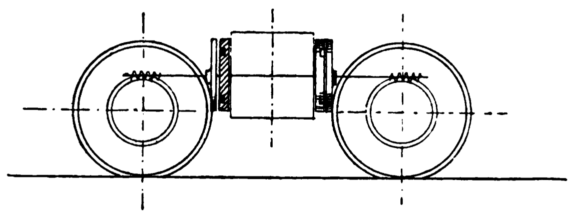


Fig. 310.

Schluss zwischen den aufeinander folgenden Polen über ihm. Die zwischen den Polen und dem Anker auftretende Zugkraft soll 3 *kg* für das Quadratcentimeter betragen. Der Entlastungsapparat muss betreffs der Dimensionen und der Erregung demjenigen Anteil der Wagenmotorzugkraft angepasst werden, welcher dem in Richtung der Achse auftretenden Schneckendruck entspricht. Die Zugkraft des Elektromagnetes ist natürlich durch die Anzahl der Ampèrewindungen regulierbar.

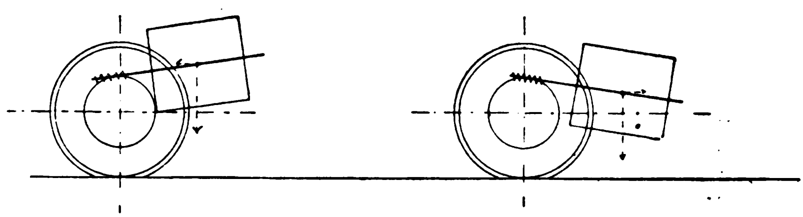


Fig. 311.

Durch Fig. 310 ist eine Anordnung skizziert, wie zur Entlastung des Schneckendruckes für beide Fahrrichtungen des Wagens der Magnetapparat vorzusehen ist. Da der Schneckendruck je nach der Drehrichtung des Schneckenrades wechselt, sind zwei Entlastungsapparate erforderlich. Der den Entlastungsapparat speisende Strom ist sehr gering. Es wird angegeben, dass für die Tonne der zu tragenden Last $^1/_8$ PS für die Magnetisierungsarbeit geleistet werden muss, ein Aufwand, welcher hinter dem, durch das Kammlager verursachten Reibungsverlust erheblich zurücksteht.

Eine teilweise Entlastung des Kammlagers kann man auch dadurch erreichen, dass man eine Anordnung wählt, wie sie Fig. 311 zeigt. Für die entsprechende Fahrrichtung ist es erforderlich, den Motor zu heben oder zu senken, sodass die Horizontalkomponente des Ankergewichtes dem Zahndruck im Schneckenrad entgegenwirkt. Diese Anordnung kann sich nur bei kleinen Zugkräften bewähren.

Eine Einzelschnecke ohne Enddruck ist durch Fig. 312 dargestellt.

Noch einige andere Übertragungsarten sind ausgeführt bezw. in Vorschlag gebracht worden, so z. B. Winkelzahnräder, Friktionsräder, Stahldrahtschnüre, Kurbelstangen.

Reibungsübertragung mittels keilförmiger Friktionsräder hat keine ausgedehnte Anwendung gefunden. Antrieb mittels cylindrischer Friktionsräder ist durch Patentschriften bekannt, aber noch nicht in die Praxis übertragen worden, obgleich diese Übertragung die natürlichste ist, weil zwischen den Übertragungsgliedern die gleichen Verhältnisse herrschen, wie zwischen dem Wagenrad und der Schiene.

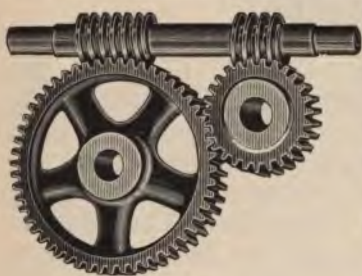


Fig. 312.

Die Grundzüge dieser Konstruktion sind die folgenden:

Das Lauf- und Treibrad einer Adhäsionsbahn wälzt sich vermöge seines Normaldruckes und der dadurch entstehenden Reibung auf der Laufschiene ab. Die Grenze der Zugkraft befindet sich bei der Reibungsgrenze der berührenden Fläche. Wenn es möglich ist senkrecht über der Wagenachse den Elektromotor so anzuordnen, wie es Fig. 313 zeigt, dann wirkt das Gewicht des Motors auf das Ankerfriktionsrad und wird das Laufrad in Rotation versetzen. Das Gleiche gilt von der Anordnung, wie dieselbe in Fig. 314 dargestellt ist, woselbst das Ankerrad sich auf besonderen Scheiben abwälzt. Da der Normaldruck nicht in allen Fällen genügt, um dieselbe Reibung hervorzubringen, wie sie zwischen Laufrad und Schiene besteht, so müssen für die Friktionsflächen Materialien in Anwendung gebracht werden, welche einen, dem geringen Druck entsprechenden grösseren Reibungskoëffizienten besitzen, wie z. B. Hirnholz, Leder u. s. w. Auch ist mittels geeigneter Magnete ein höherer Druck zwischen den Reibungsflächen zu erzielen, ohne dass der Lagerdruck vergrössert wird.

Eine in der ersten Zeit des elektrischen Bahnbetriebes häufig angewandte Übertragung war die mittels elastischer Spiraldrahtstahl-

schnüre. Dieselben haben sich solange bewährt, als es sich nur um Übertragung kleiner Kräfte handelte. Als man anfing, grosse Steigungen zu überwinden und Anhängewagen zu ziehen, genügten diese Schnurübertragungen nicht mehr und seien daher nur des historischen Interesses halber angeführt.

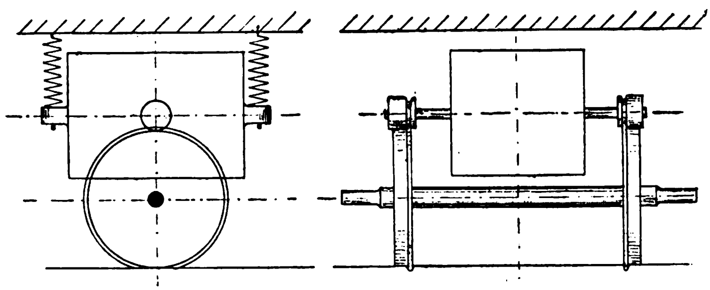


Fig. 313.

Die Kuppelung der Räder bezw. Achsen untereinander mittels Kurbelstangen wird durch die Verwendung der Elektromotoren, deren man mit Vorliebe auf jede Achse einen setzt, erübrigt.

Die englische Praxis kennt nur ungekuppelte Achsen und die europäische giebt denselben ebenfalls bei weitem den Vorzug. In den Vereinigten Staaten scheint man mit der Kuppelung zweier angetriebener Achsen sehr günstige Ergebnisse erzielt zu haben.

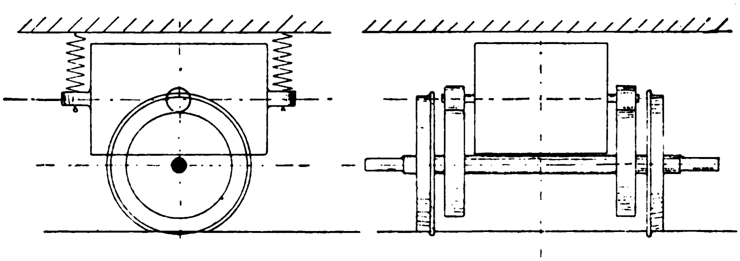


Fig. 314.

Gegen die Kuppelung wird mit gutem Grund der Einwand vorgebracht, dass durch sie die Reibung erheblich vermehrt und die Beweglichkeit des Wagens gehindert wird, was zumal für Schienenwege mit vielen Kurven oder mit Kurven von kleinem Radius von wesentlicher Bedeutung ist. Darauf erwidern aber die Anhänger des Kuppelungssystems, dass diese Nachteile gegen die mit der Kuppelung erzielten Vorteile wenig ins Gewicht fallen; denn die gekuppelten Räder zeigen weniger Neigung zum Gleiten und Schleifen.

Auf den ersten Blick wird man vielleicht nicht erkennen, warum

vier ungekuppelte Räder weniger Reibung haben sollen als vier gekuppelte, da der Raddruck durch die Kuppelungsstange nicht verändert wird. Allein hier kommen gewisse Eigentümlichkeiten des elektrischen Motors in Frage, welche die obige Schlussfolgerung stören.

Geht bei ungekuppelten Achsen der eine Motor durch und schleifen seine Räder ohne zu fassen, so wird der andere Motor davon nicht beeinflusst; und umgekehrt hängt das Durchgehen jedes Motors nur von der Reibung seiner beiden Räder ab. Sind aber die Achsen gekuppelt, so wird das Durchgehen des einen Motors auch dasjenige des anderen zur Folge haben.

Setzen wir z. B. voraus, dass im ersteren Falle der Wagen schleudert oder mit seinem einen Räderpaare auf eine fettige Stelle der Schienen kommt, so wird der eine betreffende Motor durchgehen; infolgedessen fällt die gesamte Zugarbeit auf den zweiten Motor, der dieselbe mit zwei Rädern zu leisten hat und darum auch durchzugehen anfängt. Ist nun der Wagen gerade auf einer steilen Steigung, so kann es kommen, dass derselbe sich abwärts bewegt, sobald die Räder auf den Schienen schleifen, trotzdem sich die letzteren für den entgegengesetzten Antrieb drehen.

Sind dagegen die beiden Achsen gekuppelt, so bedeutet der Adhäsionsverlust an dem einen Radpaare nicht eine Entlastung seines Motors, nicht eine Überbelastung des anderen Motors, sondern die Leistung des ersteren Motors wird durch die Kuppelungsstange auf das Radpaar des zweiten Motors übergeführt und beide Motoren arbeiten gemeinschaftlich auf dieses Radpaar, sodass also die Zugwirkung nicht oder doch nur in geringerem Masse vermindert wird.

Es wird sich also als Vorteil der Kuppelung die verminderte Schädlichkeit des Gleitens eines Rades und die Vermehrung der Zugwirkung, als Nachteil die grössere Steifheit des Wagens und die stärkere Reibung ergeben. Aber auch gegen diesen Nachteil lassen sich noch Vorkehrungen treffen, indem man die Kuppelstange durch Einschalten einer Spiralfeder selbst elastisch macht.

Diese Feder muss stark genug sein, um die Zugkraft zu übertragen, aber auch elastisch, um Verbiegungen und geringe Zusammendrückungen zuzulassen.

f) Schaltung und Regulierung der Wagenmotoren.

Die bei Hauptstrommotoren üblichen Schaltmethoden sind:

α) Regulierwiderstand im Hauptstromkreis,

β) Regulierwiderstand parallel zur Magnetwickelung,

γ) Umschaltung der Magnetwickelungen,

δ) Hintereinander- und Parallelschaltung mehrerer Anker.

Sämtliche Methoden kommen einzeln und kombiniert vor.

Für den ersten Stromstoss ist in jedem Falle ein entsprechender Ankervorschaltwiderstand erforderlich, welcher so bemessen sein muss, dass der Motor beim Anfahren, wo die elektromotorische Gegenkraft gleich Null ist, nicht mit Strom überlastet ist.

α) Regulierwiderstand im Hauptstromkreis.

Bei reinen Vorschaltwiderständen ist es üblich, stets den gesamten Leitungsquerschnitt bei jeder Schalterstellung auszunutzen, indem zuerst sämtliche Einheiten hintereinander und weiterhin mehr und mehr parallel geschaltet werden.

Die von Sprague herrührende Schaltmethode ist nach diesem Grundsatze ausgeführt worden. Einer von Dr. Rasch in der Z. d. V. d. Ing. gegebenen Beschreibung entnehmen wir das Folgende:

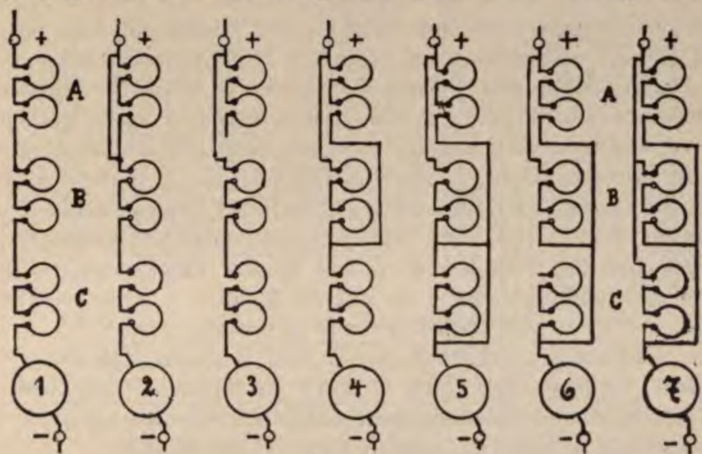


Fig. 315.

Die Magnetbewickelung des Sprague-Motors ist in drei Spulen zerlegt, welche in der Zeichnung (Fig. 315) mit A, B und C benannt sind. Die grossen Buchstaben mögen im folgenden gleichzeitig die Windungszahlen bedeuten, während die kleinen Buchstaben a, b und c für die Widerstände gelten sollen. Der Widerstand des Ankers sei r.

Wie oben erwähnt, ist dem gesamten Motor noch ein kleiner besonderer Anlasswiderstand vorgeschaltet, da selbst die Hintereinanderschaltung sämtlicher Motorwiderstände im Augenblick des Anfahrens eine allzu hohe Stromstärke durchlassen würde.

Den mit dem Motor höchstens erreichbaren Widerstand erhält man durch Stellung 1 in Fig. 315, woselbst sämtliche Spulen A, B, C und der Anker r hintereinander geschaltet sind. Der gesamte Widerstand ist $a + b + c + r$. In den Elektromagneten kommt zur Wirkung die Windungszahl $A + B + C$.

Es findet nun bei den weiteren Stellungen 2, 3, 4, 5, 6, 7 ein allmählicher Übergang von der Hintereinanderschaltung bis zur vollständigen Parallelschaltung statt. Die Durchführung dieser Übergänge wird dadurch etwas erschwert, dass der Strom im Anker niemals unterbrochen werden darf und dass der Magnetisierungsstrom die Spulen stets nur in einer Richtung umkreisen darf.

Bei Stellung 2 wird die Spule A kurz geschlossen, somit tritt sie praktisch ausser Wirksamkeit. Der Gesamtwiderstand ist $b + c + r$, die Windungszahl $B + C$; beide haben abgenommen, die Umlaufzahl muss also gewachsen sein, wenn Belastung und Spannung gleich geblieben sind.

Die Schaltung 3 bildet den Übergang zur Parallelschaltung der Spulen A und B, indem sich Spule A öffnet. Es ist dies erforderlich, da der negative Pol der Spule A, der bisher mit dem positiven von B (+ B) verbunden war, nun an — B angeschlossen werden soll. Damit durch das Öffnen der Spule A nicht der Ankerstrom unterbrochen wurde, musste sie zuerst durch 2 kurz geschlossen werden, wodurch gleichzeitig + A mit + B in Verbindung kam. In ihrer Aussenwirkung sind die Schaltungen 2 und 3 praktisch gleich, da durch das Öffnen der vorher kurz geschlossenen Spule A sich weder Widerstand noch Windungszahl geändert haben.

In Schaltung 4 finden wir, wie bereits angedeutet, A und B parallel geschaltet, d. h. + A mit + B und — A mit — B verbunden. C ist in der früheren Lage geblieben.

In Schaltung 5 erblicken wir A und B gegen Schaltung 4 unverändert, dagegen ist Spule C kurz geschlossen. Die Ausdrücke für Widerstand und Windungszahl unterscheiden sich also von denen für Schaltung 4 dadurch, dass c und C herausfallen.

Schaltung 6 ist wie Schaltung 3 nur eine Übergangsstufe, indem sich die vorher kurz geschlossene Spule öffnet. Diese Spule bleibt wie vorher praktisch wirkungslos, sodass also hinsichtlich der Windungszahl und des Widerstandes die Schaltungen 6 und 5 sich ebenfalls nicht voneinander unterscheiden.

Schaltung 7 endlich zeigt uns die drei Spulen A, B und C parallel geschaltet; der in Schaltung 6 offene positive Pol + C hat sich mit + A und + B vereinigt. Die Berechnung des Widerstandes und der wirksamen Windungszahl ergiebt sich für diese Schaltung:

$$\frac{a \cdot b \cdot c}{ab + ac + bc} + r = \text{Widerstand, und}$$

$$\frac{A \cdot b \cdot c + B \cdot a \cdot c + C \cdot a \cdot b}{a \cdot b + a \cdot c + b \cdot c} = \text{Windungszahl.}$$

In Fig. 316 ist das Schema für den Einschalteapparat zu dieser Sprague'schen Schaltung dargestellt.

Die in der Figur links gezeichneten neun Kreise stellen federnde Kontakte dar und sind, von oben nach unten gerechnet, der Reihe nach angeschlossen an: + A, + B, — A, — B, + C, — C, erste Ankerbürste, zweite Ankerbürste, Erde. Mit + A ist auch der Wagenkontakt verbunden, welcher der Fahrleitung den Strom entnimmt. Der mittlere Teil der Fig. 316 ist als abgewickelter Mantel eines drehbaren Cylinders aufzufassen. Der Cylinder besteht

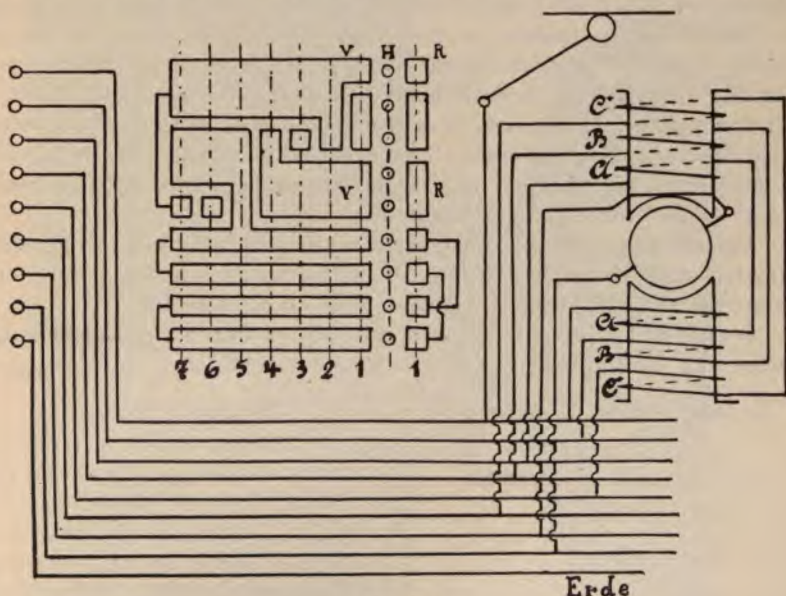


Fig. 316.

aus Holz, welches im trockenen Zustande genügende Isolation besitzt. Um ein Nasswerden des Holzes durch Anspritzen zu verhindern, ist ein Schutzblech über dem Einschalter befestigt. Gegen feuchte Luft ist der Holzcylinder nicht gut zu schützen, daher ist ein weniger hygroskopisches Material besser am Platze. Auf dem Schaltcylinder, welcher natürlich auch als Scheibe ausgebildet werden kann, sind Kontaktflächen befestigt. Auf diesen Kontaktstücken können die Federkontakte neun verschiedene Stellungen einnehmen. Stellung 1—7 bedeutet Vorwärtsgang (mit V bezeichnet). Die Stellung 0 ist gleich Halt (mit H bezeichnet) und Stellung 1 rückwärts mit R bezeichnet.

Man erkennt die Schaltungen am besten, wenn man die Figur in senkrechte Streifen schneidet, welche man auf die, die Feder-

kontakte darstellenden Kreise der Reihe nach auflegt. Dabei sind aber auch die links von der Schaltung 7 sichtbaren Drahtverbindungen zu beachten, von denen die beiden unteren sämtliche Schaltungen beeinflussen.

Die Schaltung 1 rückwärts unterscheidet sich von 1 vorwärts hinsichtlich der Schaltung der Magnetbewickelung gar nicht; der Anker wird aber vom Strom in der entgegengesetzten Richtung durchflossen. Bekanntlich läuft ein Hauptstrommotor beim Umkehren der Stromrichtung in derselben Drehrichtung weiter, weil Anker- und Feldmagnet gleichzeitig umpolarisiert werden. Will man Änderung der Drehrichtung erzielen, so muss man entweder den Ankerstrom wenden und die Stromrichtung in den Magnetspulen beibehalten, oder das Umgekehrte herbeiführen. Das erstere geschieht immer, weil der eiserne Ankerkern, aus voneinander isolierten Eisenblechscheiben bestehend, für eine Umpolarisierung gebaut ist, während im massiven Eisenkörper der Elektromagnete sogenannte Wirbelströme beim Umpolarisieren entstehen würden.

Die meisten anderen Motorschaltungen arbeiten auch mit Hintereinander- und Parallelschaltung der Widerstandseinheiten, ohne auf besondere Stromrichtung Rücksicht nehmen zu müssen.

Die Rückstromschaltung wird neuerdings durch Bremsschaltung ersetzt, die im Kapitel »Bremsen« näher erläutert ist.

β) Regulierwiderstand parallel zur Magnetwickelung.

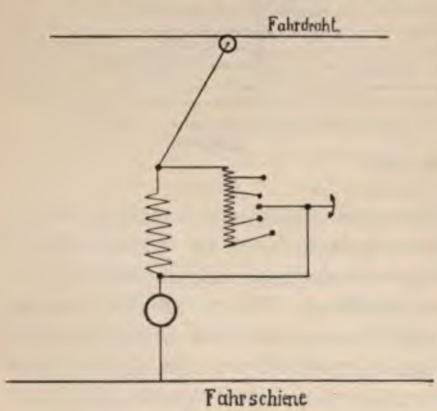


Fig. 317.

Das durch Fig. 317 dargestellte Schaltungsschema ist bei der Budapester Unterpflasterbahn zur Geschwindigkeitsregulierung der Wagenmotoren angewandt worden. Es erfolgt die für die schnellere Fahrt erforderliche Schwächung des Magnetfeldes durch Parallelschaltung eines veränderlichen Widerstandes zur Schenkelwickelung. Der Vorzug dieser Schaltung liegt in der Vereinfachung der Schaltapparate gegenüber den veränderlichen Vorschaltwiderständen.

γ) Umschaltung der Magnetwickelungen.

Zur Gruppe unter α) gehört auch diese Schaltung, welche meistens bei vierpoligen Motoren angewendet wird. Wenn zwei Motoren im

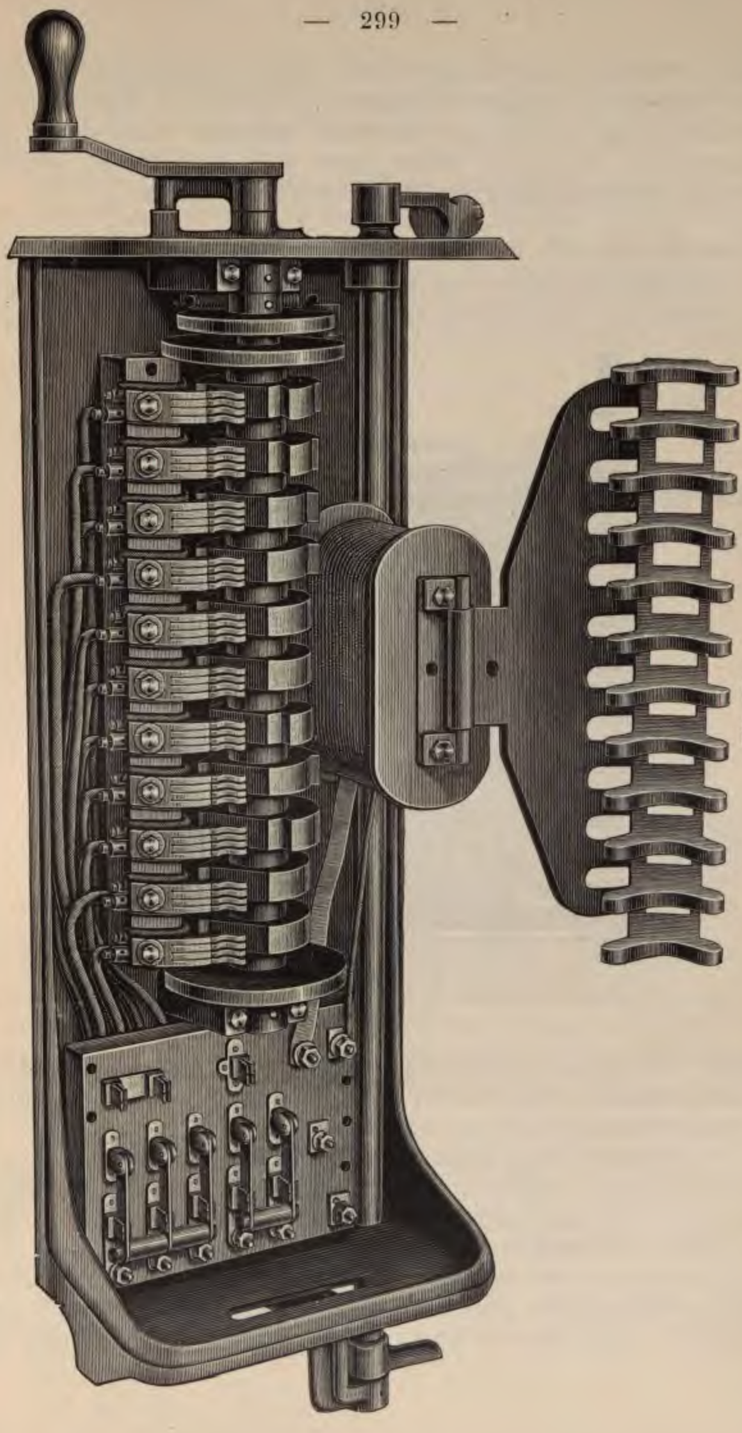


Fig. 318.

Wagen vorhanden sind, so kann man auch Kombinationen zwischen beiden Motorbewickelungen vornehmen. Siemens & Halske haben diese Schaltung neuerdings mehrfach benutzt. Gegenüber der Sprague'schen Schaltung besitzt diese den Vorteil mit weniger Leitungen zwischen Motor und Schalter auszukommen.

δ) Hintereinander- und Parallelschaltung mehrerer Anker.

Diese Methode stellt sich als die Umkehrung der vorherigen dar, indem die Ampèrewindungszahlen der Anker direkt variiert

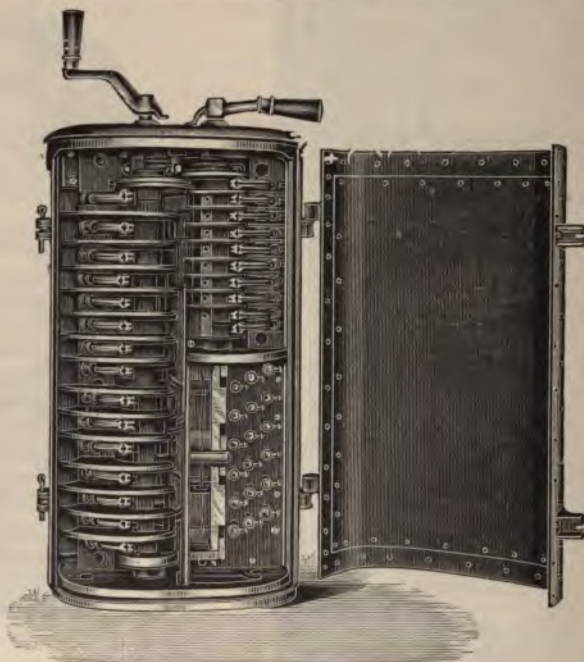


Fig. 319.

werden. Um genügend Abstufungen für diese Schaltung zu haben, ist eine grössere Anzahl Motoren nötig. Daher findet diese Schaltung bei Strassenbahnen nicht ausgebreitete Verwendung.

Über die Regulierung elektrischer Motorwagen hat E. G. Fischinger in der ETZ 1896, Heft 14, eine eingehende Abhandlung veröffentlicht, auf welche hier hingewiesen werden kann, da sie über den Erfolg und Misserfolg mehrerer Schaltmethoden berichtet.

Es würde zu weit führen, an dieser Stelle alle für die Schaltungen erforderlichen Konstruktionen aufzuzählen, da wohl jede Fabrik ihr eigenes System baut. In der äusseren Form ähneln die

meisten Schaltapparate einem schmalen, hohen, an der Perronvorderwand befestigten Kasten mit 1—2 Griffen. Die Drehungsachsen der Schaltcylinder stehen meistens senkrecht. Flachschalter sind wenig üblich.

Die Schaltvorrichtungen am Wagen führen dem Motor den Strom von dem Wagenkontakte zu und verteilen ihn für die verschiedenen Schaltungen. Eine Hauptkonstruktionsregel für die Kontaktvorrichtung am Schaltapparat wird durch den Umstand bedingt, dass die Kontaktwalze oder Kontaktscheibe in fortwährend benutztem Zustande sich befindet. Jedes Anfahren, jede Geschwindigkeitsänderung, jedes Anhalten muss durch den Schaltapparat bewirkt werden. Die letztere Handhabung greift die Kontaktflächen in ganz besonderem Masse an, weil durch den Induktionsstrom, der beim Verschwinden des Betriebsstromes entsteht, zwischen den voneinander abgleitenden Flächen ein Funken entsteht, der diese Flächen abbrennt und zum guten Kontakt nicht weiter geeignet macht. Um diesem Übelstande zu begegnen, konstruiert man erstens die Kontaktstücke leicht auswechselbar oder aus solchen Materialien, denen ein Abbrennen nichts schadet, wie z. B. Kohle. Zweitens sucht man der Entstehung des Funkens dadurch Schwierigkeiten zu bereiten, dass man die Kontaktflächen beim Abgleiten besonders schnell voneinander entfernt, und erreicht zum mindesten hierdurch, dass der Abreissfunke nur ganz kurze Zeit besteht, also keine grosse Wärmewirkung im Gefolge haben kann. Die dritte und häufigste Art besteht in der magnetischen Funkenauslöschung, ähnlich der Funkenauslöschung an den diesbezüglichen Blitzfunkenlöschern.



Fig. 320.

Sämtliche Schaltapparate werden mittels Kurbel oder Hebel in Bewegung gesetzt, deren genaue Einstellungen durch Einklinkungen dem Wagenführer markiert sind. Gut ist es, wenn dem Handhabenden die richtige Mittelstellung einer Kontaktreihe durch das Gefühl zum Bewusstsein kommt.

Die in den Fig. 318, 319 und 320 dargestellten Perronschalter veranschaulichen, wie obige Konstruktionsregeln befolgt sind.

Der in Fig. 318 aufgeklappte Elektromagnet zeigt das Ineinandergreifen der Polschuhe und Kontakte zur magnetischen Funkenlöschung.

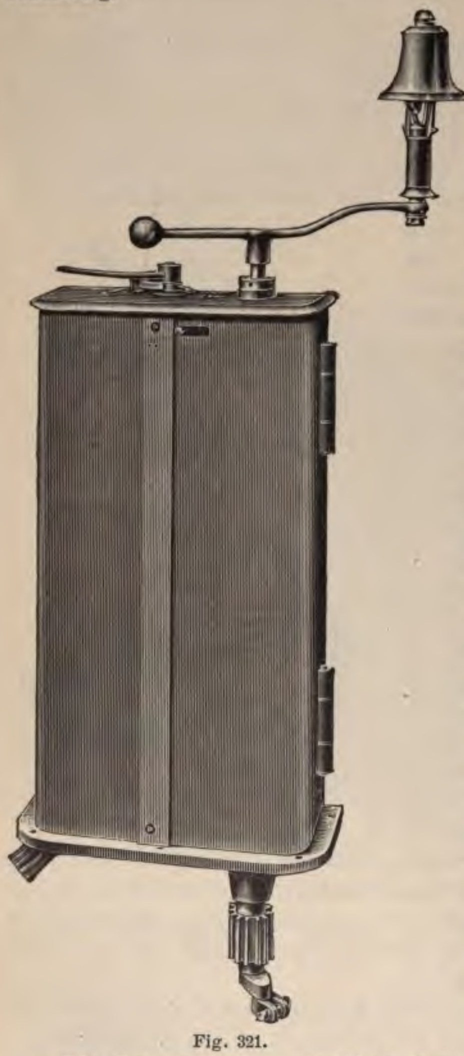


Fig. 321.

Dieser Schalter ist bei der General Electric Co. bezw. bei derThomson-Houston-(Union-) Gesellschaft im Gebrauch. Der in Fig. 319 dargestellte Schalter ist derjenige der Steel Motor Co. Der von der Aktien-Gesellschaft Elektrizitätswerke (vormals O. L. Kummer & Co.) eingeführte und in den Fig. 321 und 322 bezeichnete Schalter zeigt eine Vereinigung der Bremsspindel mit der Hauptschaltkurbel. Die erstere kommt erst dann zur bremsenden Thätigkeit, wenn die Schaltwalze die ausgeschaltete Stellung eingenommen hat. Mit dieser Konstruktion wird vermieden, dass ein Einschalten des Stromes eher erfolgen kann, als bis die Backenbremse gelöst ist. Der Wagenführer hat seine Aufmerksamkeit und Muskelkraft nur auf einen einzigen Hebel zu erstrecken, was als Vorteil zu bezeichnen ist. Die Abhängigkeit zweier wichtiger Apparate von ein und demselben Mechanismus ist nur dann als ein Vorzug zu betrachten, wenn die Ausführung der einzelnen Teile die denkbar beste und dauerhafteste ist.

Die Perronschalter sind bei dem dauernden Gebrauch leicht zu Betriebsstörungen geneigt. Es ist daher wünschenswert, neben dem Gebrauchsschalter einen Notausschalter zu haben, mit welchem man den Strom sofort unterbrechen kann, falls am Hauptschalter die Handhabung versagt. Wenn es möglich ist, den Wagenkontakt von

dem Fahrdraht mit einem bequemen Griff abzuziehen, kann man des Notausschalters entbehren.

Die Verteilungsschalter, um z. B. einen der beiden Wagen-

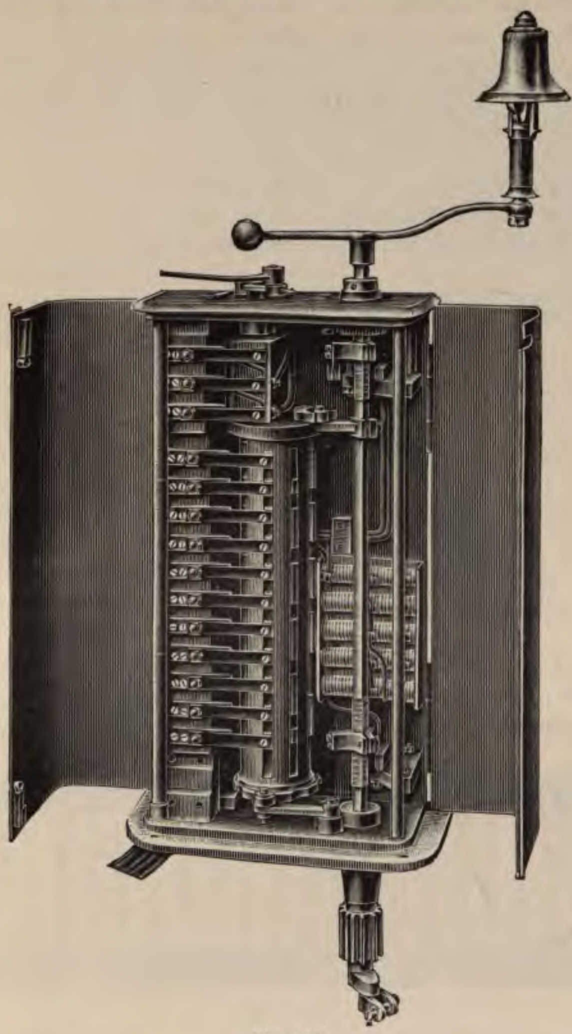


Fig. 322.

motoren ganz aus dem Betrieb nehmen zu können, falls er auf der Strecke defekt geworden ist, bieten ebensowenig wie die Bleisicherung zum Schutz von Stromüberlastung an Leitungen und Maschinen eine Sonderheit gegenüber anderen elektrischen Anlagen, wenn nur

immer die Spannung von 500 Volt für die Konstruktion der Teile in Betracht gezogen ist. Es genügt daher betreffs dieser Konstruktionsteile der Hinweis auf die üblichen Konstruktionen.

An Stelle der üblichen und bekanntlich bei grossen Stromstärken sehr unsicheren Wagenbleisicherungen wenden Siemens & Halske Starkstrom-Automaten mit besonderer Wirkungsweise an. Dieser selbstthätige Ausschalter (D. R. P. 83 276) ist durch Fig. 323 dargestellt. Der Wagenbetriebsstrom geht über die Kohlenkontakte b und c durch d, k, h, Selenoid g zum Motor. Wächst er zu stark an, so hebt der Kern i des Selenoids den Hebel d an und der zwischen den Kohlen entstehende Lichtbogen wirkt als starker Widerstand. Bei einem plötzlichen Stromstoss wird c über die labile Gleichgewichtslage hinausgeschleudert und der Strom dauernd unterbrochen.

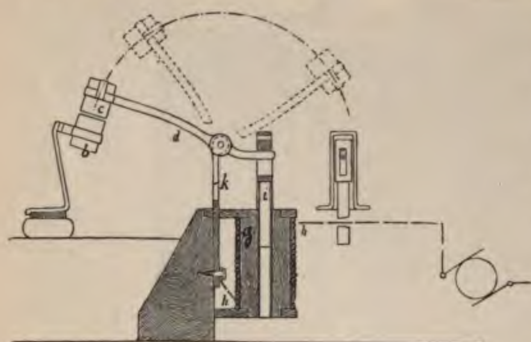


Fig. 323.

Dieser Automat ist gegen die Erschütterungen des Wagens unempfindlich und hat sich gut bewährt.

Ehe die Kohlenbürsten für Motoren erfunden waren, mussten mittels der Umschaltevorrichtungen auch die Bürsten für Hin- und Rückgang in die neutrale Zone umgelegt werden, wozu komplizierte Vorrichtungen erforderlich waren. Durch Einführung der Kohlenbürsten ist mithin eine wesentliche Vereinfachung der Umschaltevorrichtung erzielt und zugleich eine Schonung des Kommutators erreicht worden.

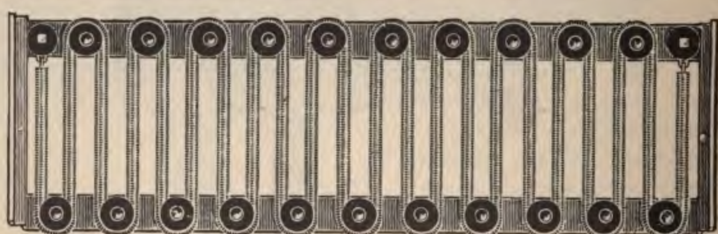


Fig. 324.

Die zur Verwendung gelangenden Vor- und Parallelschaltwiderstände können sowohl Drahtspiralen aus Nikelin- oder Kruppin-Draht oder auch -Band sein und müssen feuerfest und kurzschlusssicher

montiert sein. Flüssigkeitswiderstände sind selten, aber z. B. von Kummer & Co. mit gutem Erfolg verwendet worden. Drahtwiderstände, unter den Sitzbänken angebracht, hat man zur Heizung des Wageninneren benutzt.

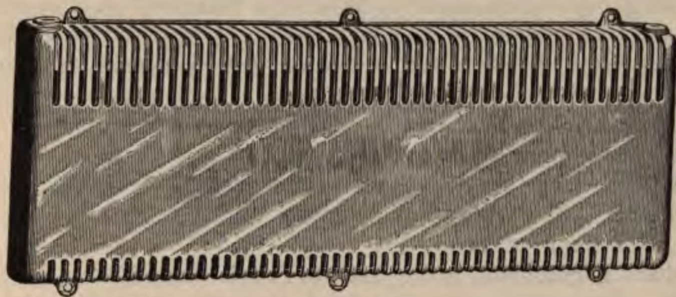


Fig. 325.

Um die Widerstände im Sommer nicht aus dem Wagen entfernen zu müssen, haben Siemens & Halske besondere Lüftungsklappen im Fussboden angebracht, durch welche die warme Luft abgeführt werden kann.

Die Grundform eines Wagenwiderstandes ist durch Fig. 324 und 325 dargestellt. Erstere zeigt den Widerstand im unbedeckten Zustande auf einem feuerfesten Rahmen mittels isolierender Hülsen befestigt, letztere mit einem luftdurchlassenden Deckel bedeckt.

22. Der Fahrkontakt (Wagenkontakt).

Die Richtung des Fahrdrahtes fällt gewöhnlich mit der Mittellinie des Gleises zusammen. Es kommen indes Verhältnisse vor, bei

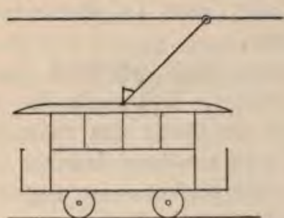


Fig. 326.

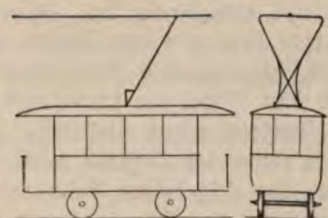


Fig. 327.

denen diese Richtung abweichen muss. So z. B. zieht man es bei Verwendung des Bügelkontaktes vor, den Fahrdraht in langgedehnten Zickzacklinien zu verlegen, damit der Bügel in seiner ganzen Breite nach und nach zum Kontakt gelangen kann und dadurch Einkerbungen im Bügel vermieden werden. Bei Bahnübergängen mit Schlagbarrièren ist man ebenfalls oft gezwungen, den Fahrdraht aus

der Mitte zu verlegen, weil sonst die herabschlagende Barrière diesen Draht treffen würde. Für diesen Fall muss der Fahrkontakt genügend seitliche Bewegung zulassen.

Die Fahrkontakte sind als Rolle am oberen Ende einer am Wagendach befestigten leichten, federnden Stange (Fig. 326) oder als Bügel eines ebenso aufgebrachten Gestelles (Fig. 327) ausgeführt.

Beide Arten drücken von unten an den Fahrdraht im Gegensatz zu den veralteten Konstruktionen, welche sich stets oberhalb des stromführenden und kontaktgebenden Drahtes hinbewegten.

Der Vorteil der Kontaktgebung an der unteren Seite des Fahrdrahtes zeigt sich in der Konstruktion des Tragwerkes, welches entsprechend leicht und gefällig, sowie unabhängig von der Gleisanlage herstellbar geworden ist.

Beiden angeführten Arten hat die Praxis ihren Platz angewiesen, und die gegenseitigen Vorzüge und Nachteile wetteifern in ihrer Anwendung. Vom Schönheitsstandpunkte aus gebührt der zierlichen Rolle mit dem Stahlrohr entschieden der Vorteil betreffs der Erscheinung am Wagen, während die durch die Rolle bedingten Weichen- und Kurvenanlagen an der Hochleitung den guten Eindruck wieder vermindern. Der Bügelkontakt erfordert über dem Wagendach eine kompaktere Konstruktion, um Verdrehungen des Bügels vorzubeugen; dafür aber kann die Hochleitung äusserst zierlich ohne jede Weichenanlage und mit geringerer Kurvenverspannung hergestellt werden. Es bleibt also, sich für den Vorzug zu entscheiden, ob man das Schöne am Wagen oder an der Hochleitung haben will, und für diese Entscheidung müsste massgebend sein, ob erstens die Wagen sich sehr oft dem Blicke des Beschauers zeigen oder selten, und ob zweitens die Bahn viele Weichen und Kurven aufweist oder gerade und zweigleisig ist. Man sieht, dass in dieser Beziehung beide Arten ihre gleichen Rechte haben.

Vom Standpunkte der Betriebssicherheit während der Fahrt gebührt dem Bügel die unbedingt grössere Sicherheit der Kontaktgebung, erstens schon dadurch, dass an Stelle des rollenden Kontaktes ein reibender Kontakt arbeitet, und zweitens dadurch, dass die Führung des Bügels am Fahrdraht eine vollkommen ungezwungene ist. Die Stösse, welche in den verschiedensten Richtungen die Kontaktvorrichtung treffen, werden durch die breite Fläche des Bügels besser aufgenommen, als durch den kurzen Zwischenraum der Rollenrille. Andererseits sind die Rollenflanschen sehr vielen Beschädigungen ausgesetzt, sodass hierdurch öfters Betriebsstörungen hervorgerufen werden.

Der weiteren Betrachtung unterliegt die Abnutzung des Fahrdrahtes.

Der Rollenkörper wälzt sich am Draht ab, kann also durch die rollende Reibung keine Abnutzung bewirken, dagegen wird die Stromübertragung infolge der minimalen Berührungsfläche mittels kleiner Funken bewirkt, und diese greifen mit der Zeit den Draht an. Die Rollenflanschen reiben bei allen Stössen, besonders in den Kurven an den Seiten des Fahrdrahtes, wodurch eine merkliche Abnutzung desselben festgestellt worden ist.

Die Bügelreibungsflächen werden neuerdings mit Schmiernuten und weichem Metallüberzug versehen (Patent von Siemens & Halske), wodurch der Fahrdraht nicht nur nicht abgenutzt, sondern noch verstärkt wird, indem sich das weiche Bügelmetall an dem Fahrdraht festsetzt und einmal der Abnutzung eine grössere Fläche bietet und zum anderen immer soviel Metall ansetzt, wie abgeschliffen wird.

Die in die Praxis Eingang gefundene Konstruktion des »Schmierbügels« ist im Querschnitt in der Fig. 328 dargestellt. a bedeutet die eigentliche Kontaktschiene des Bügels, welche von dem Mantel b teilweise umgeben wird. Der Zwischenraum kann entweder mit einem durchlässigen Stoff (Docht) ausgefüllt sein, welcher aus dem Hohlraum d flüssiges Schmiermaterial hochsaugt, oder der ganze Zwischenraum c und d ist mit konsistentem Fett gefüllt.

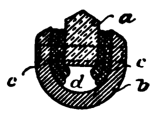


Fig. 328.

Das Geräusch, welches der schleifende Bügel früherer Konstruktion hören liess, wurde durch die Longitudinalschwingungen, in welche der Fahrdraht durch den Bügel versetzt wurde, hervorgerufen. Das von dem Bügel mitgeführte Schmiermaterial vermindert jedoch die Schwingungen des Fahrdrahtes, sodass betreffs des Geräusches die denkbar grösste Verminderung erfolgt ist.

Genaue Messungen der Fahrdrähte in Dresden haben ergeben, dass durch den Bügelkontakt der Hartkupferdraht von 8 *mm* Durchmesser nach $3^1/_2$ jährigem Betrieb nur 0,3 *mm* von seinem Durchmesser verloren hat.

Die bei der Budapester Strassenbahn angestellten Beobachtungen und Messungen ergaben, dass der während einer mehr als dreijährigen Betriebsdauer bei rund 280 000 Fahrten beanspruchte Fahrdraht durch das Schleifen des Bügels eine Querschnittsverminderung von nur wenigen Prozenten erlitten hat. Ebenso ist auch die Abnutzung des Bügels eine ausserordentlich geringe. Die Dauer seiner Verwendbarkeit beträgt mehr als 32 000 Wagenkilometer. Die Gesamtkosten des Bügels einschliesslich Schmierung ergeben sich zu 0,055 Pfg. für das Wagenkilometer.

Von Reutlinger & Harrison Branch sind Versuche ausgeführt worden, um den Druck des Wagenkontaktes gegen die Fahrleitung

zu bestimmen und die zerstörende Funkenbildung und die Nachteile, welche sie mit sich führen, zu vermeiden. Der Druck schwankte zwischen 4,2 und 13,3 *kg*, die besten Resultate wurden mit einem Druck von etwa 10 *kg* erhalten. Eine geringere Spannung erteilt dem Rollenkontakte eine zu grosse Neigung zu entgleisen und erzeugt Funken; eine stärkere Spannung erschwert die Manövrierfähigkeit. Dem Durchhang der Fahrleitung entsprechend senkt und hebt sich der Wagenkontakt. Die Druckdifferenzen, welche sich hieraus ergaben, sind keineswegs zu vernachlässigen, denn sie variierten bei den fraglichen Versuchen zwischen 1,5 und 4,5 *kg*. Der Bügel kann erfahrungsgemäss mit einem geringeren Druck, etwa 3,5 *kg* anliegen.

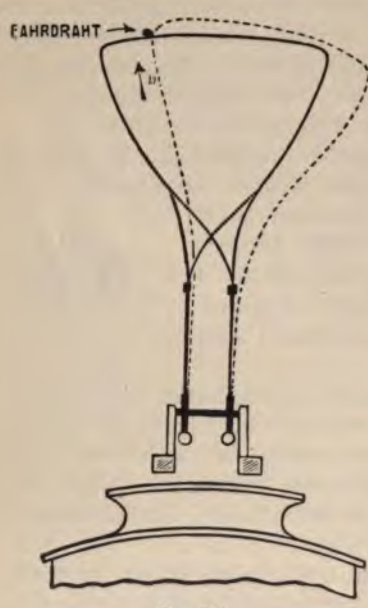


Fig. 329.

Die Lebensdauer einer Kontaktrolle rechnet man zu 5000 *km* d. h. zu 5—6 Wochen.

Dass die Rolle häufig entgleist, ist allgemein bekannt, und die Fälle, in denen durch den emporschnellenden Kontaktarm der nächste Querdraht verschoben oder aus seiner Verbindung gelöst wird, sind nicht selten.

Es ist unzweifelhaft, dass die breite Form des Bügels sich gegen ein Abgleiten vom Fahrdraht ungleich günstiger verhält, als die nur in der Hohlkehle daran geführte Rolle.

Aber selbst wenn ein Abgleiten des Bügels beim Entgleisen des Wagens oder verschobener Fahrdrahtlage eintritt, so ist dieser durch die dem leichten Stahlrohrgestell innewohnende Elastizität befähigt, am nächsten Querdraht ohne Beihilfe wieder von selbst unter die Leitung zu schlüpfen, ohne die letztere irgendwie zu beschädigen. Fig. 329 zeigt diesen Vorgang.

Auch das Umlegen des Stromabnehmers beim Wechsel der Fahrrichtung geschieht vom Bügel selbstthätig, während der Kontaktarm der Rolle an einem Strick vom Bedienungspersonal in einer Kreisbewegung herumgeführt werden muss, was natürlich nur beim Stillstand des Wagens ausführbar ist und bei Dunkelheit und schlechtem Wetter Schwierigkeiten verursacht.

Die Bügelgestelle sind zur Erleichterung des Umlegens mit vertikal versenkbarer Drehachse, welche durch Federn oder Gewichte ausbalanciert wird, konstruiert, wodurch gleichzeitig ein Anheben des Fahrdrahtes und ein zu starker Druck auf das leicht gebaute Gestell vermieden werden soll. Fig. 330 und 331 zeigten die Ausführung und Wirkung des elastischen Gestelles.

Da auch die Überführung des Bügels bei einem Gleiswechsel ohne Anwendung besonderer Luftweichen durch einfache Abzweigung des Fahrdrahtes erfolgen kann, hat der Wagenführer nicht nötig, den Stromabnehmer irgendwie zu beobachten und kann seine ungeteilte Aufmerksamkeit dem Strassenverkehr und den Bedienungsapparaten des Wagens zuwenden.

Es giebt einen, allerdings seltenen Fall, bei dem man trotz aller Vorteile des verbesserten Bügels dennoch zur Anwendung des Rollenkontaktes greifen muss. Sobald sich nämlich die Strassen-

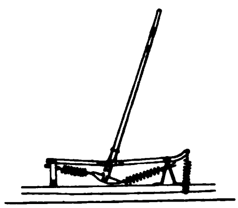


Fig. 330.

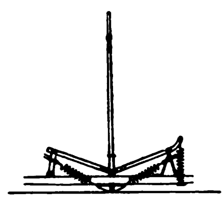


Fig. 331.

bahn dicht an einer Baumreihe hinbewegt, würde für das Profil des Bügels der Baumweg sehr weit ausgeschnitten werden müssen. Bei der Rolle kann man in diesem Falle sich mit dem Ausschnitt bis zur Mitte des Wagens begnügen, ein Umstand, der bei manchen Anlagen von den Besitzern oder Behörden mit grossem Nachdruck geltend gemacht wird.

Es ist möglich, diesem Übelstand zu begegnen, indem man durch eine Zugvorrichtung den Bügel mitsamt seinem Federbock auf dem Wagendach seitlich verschiebbar anordnet.

Bevor wir auf die Einzelheiten der Konstruktion übergehen, mögen noch einige Variationen der Fahrkontakte kurz skizziert werden.

Fig. 332 zeigt schematisch eine Kontaktgebung durch eine seitlich ausladende Kontaktstange mit Rolle, wie dieselbe bei der Staffordshire-Bahn zur Anwendung gekommen ist. Hierbei ist es nicht nötig, dass der Fahrdraht sich über dem Gleise befindet, und werden Differenzen in der Seitenlage vollkommen ausgeglichen. Durch die in den Fig. 333 und 334 gegebenen Details wird die Wirkung dieses Wagenkontaktsystems näher erläutert.

Bei dieser Aufhängung des Fahrdrahtes muss die Rollenstange eine bedeutende Länge erhalten und hat, wenn aus Stahl gefertigt, ein erhebliches Gewicht. Das Gewicht bei Verwendung von Bambus lässt sich auf ein Fünftel reduzieren. Infolge des verminderten Gewichtes können auch die Spannfedern viel leichter gehalten bezw. durch eine Blattfeder ersetzt werden. Die Rolle kann aus Aluminiumbronze und ihr Lagerständer mit einem Kugelgelenk versehen werden, sodass sich die Rolle dem Fahrdraht überall gut anpassen kann.

Ein bisher allerdings nur in Schrift ausgeführtes System der Kontaktgebung ist das nach seinem Erfinder genannte Jex'sche

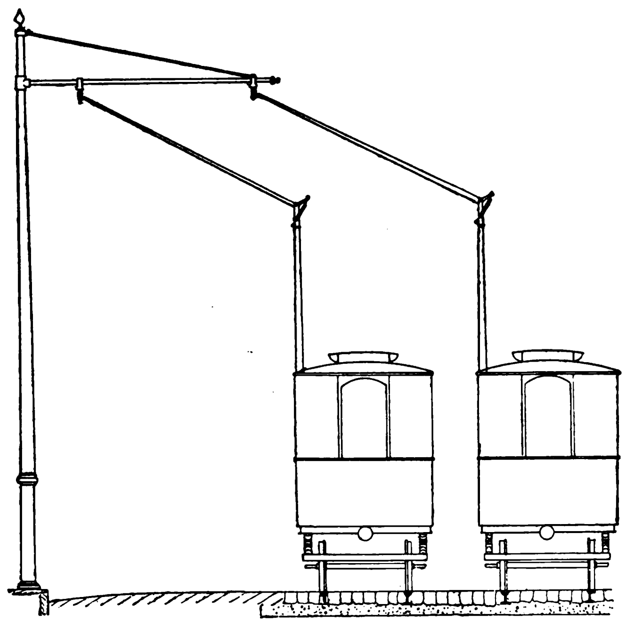


Fig. 332.

System. Hier denkt sich Jex nur stromführende Querdrähte über die Strasse gespannt und zwar so dicht aufeinander folgend, dass ein um 90° versetzter steifer Bügel, wie ihn Fig. 335 zeigt, den einen stromführenden Querdraht Q noch berührt, während er den nächsten schon berührt. Rechnet man demnach die Wagenlänge mit 6 *m* und nimmt man an, dass der Bügel vorn und hinten noch je 1 *m* übersteht, so müssten die Querdrähte mindestens alle 8 *m* aufeinander folgen. So lange man sich mit dieser Stromleitung zwischen Häusern befindet, ist das System billig, da man die Querdrähte mittels Mauerhaken oder Rosetten befestigen kann und Weichen

sowie Streckenunterteilungen erübrigt. Muss man aber zur Aufbringung der Querdrähte besondere Stützpunkte, z. B. Maste aufstellen, dann dürfte die Rentabilität der Anlage doch wesentlich in Frage gestellt sein. Ausführungen nach dieser Idee sind bisher noch nicht bekannt geworden.[1])

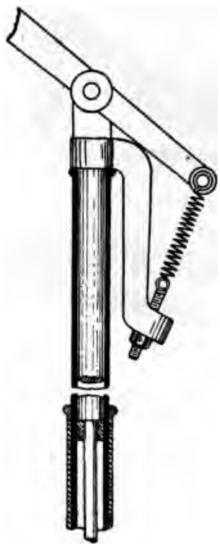


Fig. 333.

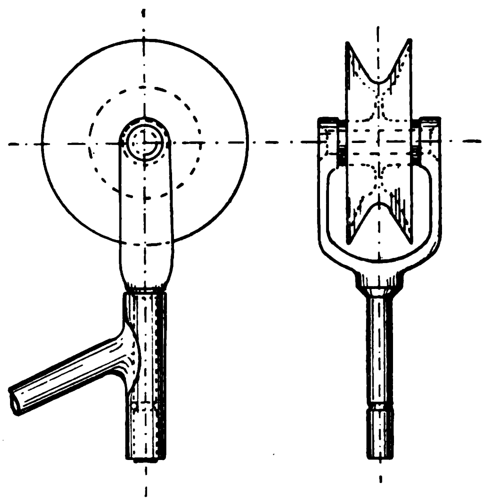


Fig. 334.

Ein ähnliches Kontaktsystem hat der französische Ingenieur Bochet vorgeschlagen. Dieses ausserordentlich einfache System beruht auf der Anordnung, die Luftleitung in Gestalt einer stromabnehmenden Schiene auf dem Dach des Wagens selbst mitzuführen, während die in entsprechender Entfernung vorgesehenen Masten Kontaktschuhe tragen, welche mittels einer unterirdischen Leitung gespeist, den vorüberfahrenden Wagen den nötigen Strom abgeben. Die gegenseitige Entfernung der Kandelaber ist etwas geringer als die Länge der auf dem Wagen befindlichen, stromabnehmenden Schiene, sodass letztere beständig mit einem der Kontaktschuhe in Berührung bleibt. Da nun der Abstand der Kande-

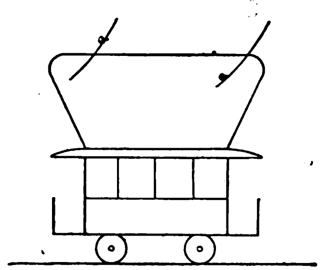


Fig. 335.

[1]) Näheres über dieses System ist in einer Broschüre veröffentlicht worden unter dem Titel: »Das patentierte Querleitersystem« von Carl Jex. Leipzig, Verlag von Grübel & Sommerlatte.

laber voneinander von der Länge der stromabnehmenden Schiene abhängt und infolgedessen mehrere zusammengekuppelte Wagen erfor-

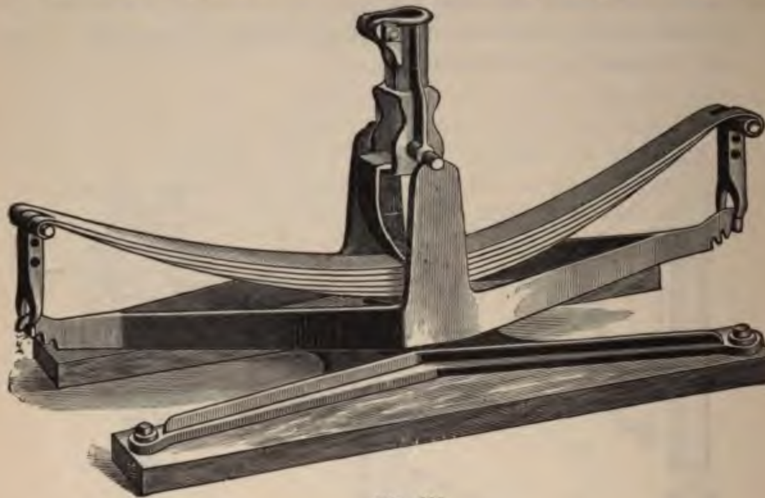


Fig. 336.

derlich sind, um eine grössere Entfernung bezw. geringere Anzahl der Kandelaber zu ermöglichen, so ist mindestens ein Zug von

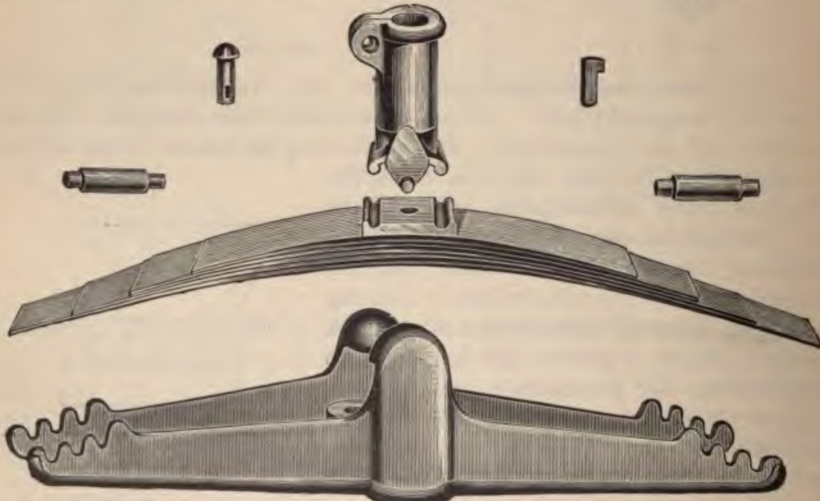


Fig. 337.

zwei bis drei Wagen geboten. Der wesentliche Vorteil dieses Systems bedingt somit gleichzeitig eine Schattenseite desselben, nämlich die

Unmöglichkeit des Betriebes mit einem einzigen Wagen, was jedenfalls nur eine beschränkte Anwendung der Konstruktion gestattet.

Die Befestigung der Rollenkontaktstange sowie des Bügelgestelles auf dem Wagendach erfolgt mittels isoliert gelagerter Holzbalken,

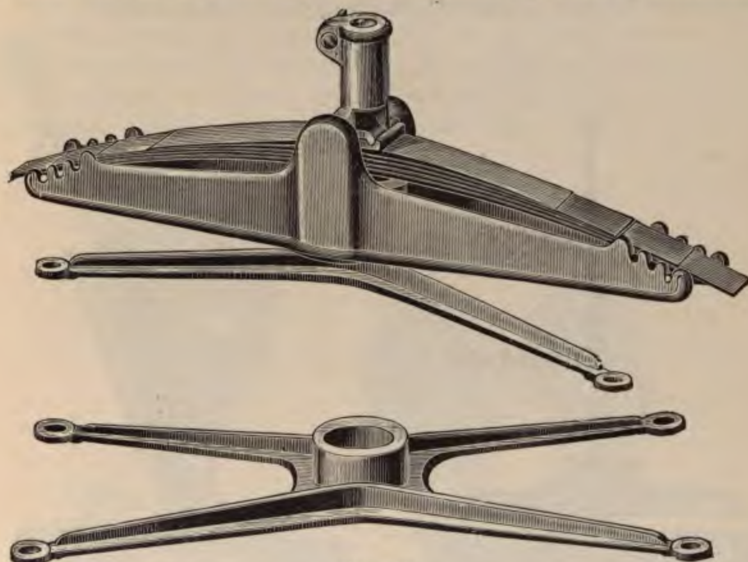


Fig. 338.

die wiederum mit dem eigentlichen Wagengerüst verbunden sind. Drehbare Stangenuntersätze mit Federbock zeigen Fig. 336, 337,

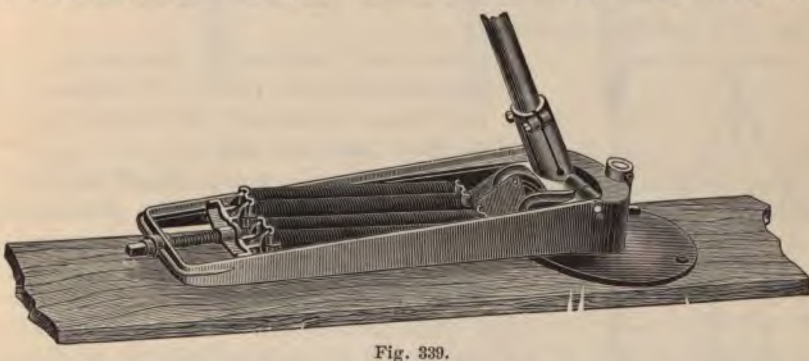


Fig. 339.

338, 339, 340. Die Rollenstange und das Bügelgestell sind meistens aus Stahlrohr hergestellt.

Eine Kontaktstange eigenartiger Konstruktion ist durch Fig. 341 dargestellt.

Fig. 342 zeigt einen Stromabnehmer, der in Form eines Gelenkvierecks ausgeführt und mit einer selbstthätigen Auslösevorrichtung versehen ist, durch welche die Stromzuführungsstange beim Entgleisen der Rolle sofort umschlägt und dadurch aus dem Bereich der Querdrähte kommt. (D. R. P. 85590.)



Fig. 340.



Fig. 341.

Einige Konstruktionen von Rollen und Rollenkörben sind durch Fig. 343 und 344 dargestellt.

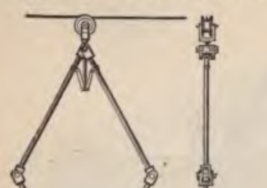


Fig. 342.

Eine sehr vollständige Sammlung von Rollenkonstruktionen giebt P. Poschenrieder in der Wiener Zeitschrift für Elektrotechnik 1897, Heft XIII und XIV.

Um die Vorteile, welche Bügel und Rolle besitzen, zu vereinigen, haben sowohl die Rollen- als auch die Bügelliebhaber gestrebt, Rolle und Bügel zu vereinigen und dies durch die verschiedensten Konstruktionen und Patente erreicht. Die amerikanische Firma Walker Co. in New-York hat zu diesem Zwecke den in Fig. 245 dargestellten Rollenbügel konstruiert. Siemens & Halske haben die Anordnung nach Fig. 246 gewählt (D. R. P. 87342). Die Rolle soll hier den Kontakt in der geraden Strecke übernehmen, während der

Bügel in der Kurve in Wirksamkeit tritt. Um entgleiste Rollen wieder selbstthätig einzugleisen, ist der Vorschlag gemacht worden, spiralige Nuten seitwärts der Rolle anzubringen, welche, da sie drehbar angeordnet sind, den Fahrdraht wieder der Rolle zuführen. (Fig. 247.)

Der Vollständigkeit halber sei noch durch Fig. 248 eine Rolle verzeichnet, welche dazu dient, im Winter den Reif von der Fahrleitung abzukratzen. In Amerika ist diese Rolle vielfach angewandt worden, während in Europa mit rotierenden Drahtbürsten zu diesem Zwecke gute Erfahrungen gemacht worden sind.



Fig. 343.



Fig. 344.

Am Schlusse seien die Vorschriften wiedergegeben, welche die Dresdener Stadtverwaltung als Eigentümerin der Strassenbahnstromzuführungs-Anlagen für die Strassenbahngesellschaften herausgegeben hat, und welche sich als äusserst praktisch erwiesen haben.

Vorschriften,
betreffend die Herstellung und Verwendung der auf elektrisch betriebenen Strassenbahnlinien mit oberirdischer Stromzuführung in Dresden benutzten Stromabnehmer.

1. Der Stromabnehmer muss in seinem oberen Teile die Form eines gleichschenkligen sphärischen Dreiecks mit abgerundeten Ecken haben.

Die nach oben gerichtete Grundlinie des Dreiecks muss nach Abrundung der Ecken mit 7,5 *cm* Radius noch eine Breite von 1,40 *m* haben und nach einem Radius von 2,50 *m* gekrümmt sein.

Die Höhe des Dreiecks muss ungefähr 1 *m* und der Krümmungsradius der beiden Schenkelseiten 1,40 *m* betragen.

Die Länge der auswechselbaren Kontaktschiene hat mindestens 1 *m*, nach jeder Seite der Mittellinie des Dreiecks, also mindestens 0,50 *m* zu betragen.

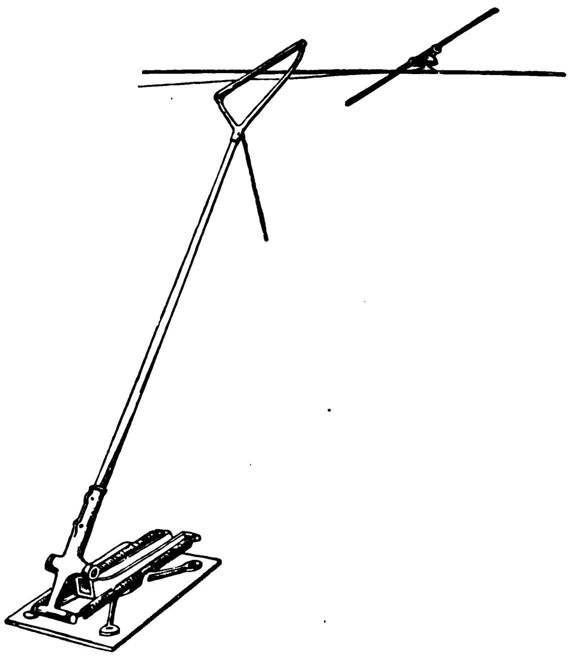


Fig. 345.

2. Um das Hängenbleiben des Stromabnehmers an der Leitung zu verhüten, dürfen an dessen Aussenseite irgendwelche Befestigungsteile nicht hervorstehen.

Der Stromabnahmebügel ist an dem Untergestell dergestalt zu befestigen, dass wenn gleichwohl der Stromabnehmer an der Leitung hängen bleiben sollte, ein Herunterreissen der letzteren ausgeschlossen ist und daher eher der Stromabnehmer aus seiner Befestigung geht.

3. Die Mittellinie des unter 1 beschriebenen Dreiecks muss mit der Mittellinie des Wagens zusammenfallen, und es ist die Drehachse so zu lagern und das ganze Bügelgestell so stabil zu machen, dass auch bei den grössten seitlichen Schwankungen des Wagens die

höchste Weite der federnden Ausschlagungen des Bügels nach jeder Seite nicht über 5 *cm* beträgt.

4. Das Gewicht der Kontaktschiene darf 1 *kg* nicht überschreiten, während das Gewicht des Rohrgestelles bis zum Drehpunkte, einschliesslich der Kontaktschiene, höchstens 10 *kg* betragen darf.

5. Die Abfederung des Bügels muss so beschaffen sein, dass derselbe an einem 5 *m* über der Strassenoberfläche gespannten Leitungsdraht mit einem Druck von höchstens 3,5 *kg* anliegt.

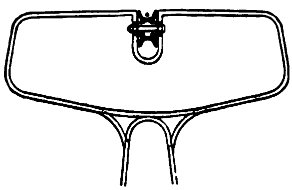


Fig. 346.

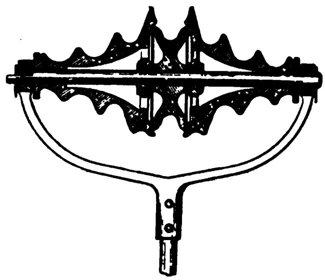


Fig. 347.

Dieser Druck darf sich auch bei Veränderungen der Höhenlage des Fahrdrahtes in den Grenzen zwischen 4,5 *m* und 5,3 *m* nicht wesentlich ändern.

Bei Anordnung der Federung des Bügels ist darauf Bedacht zu nehmen, dass eine Funkenbildung bei Abnahme des Stromes möglichst vermieden wird.

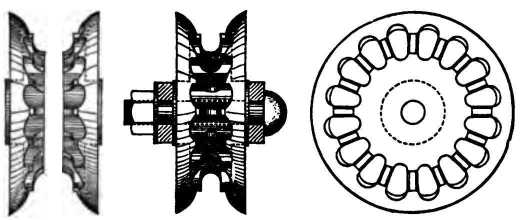


Fig. 348.

6. Der Bügel darf beim Umlegen unter einer Leitung von 5,1 *m* Höhe diese nicht mehr als 15 *cm* aufheben.

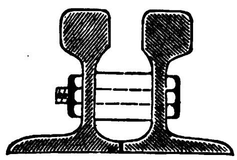
7. Ungefähr zwei Drittteile der in Betrieb befindlichen Kontaktschienen müssen aus einem mit Weissmetall umgossenen Messing- oder Rotgussstab bestehen, ein Drittteil dagegen aus zusammengenieteten Aluminiumblechstreifen, deren Zwischenräume abwechselnd mit Weissmetall und Fett gefüllt sind.

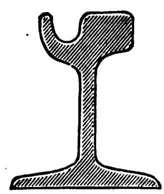
Über unterirdischen Fahrkontakt siehe Seite 157—167.

Als eine zeichnerische Ergänzung der vorstehenden Abschn. 20, 21, 22 kann die hier wiedergegebene Tafel eines Strassenbahnmotorwagens gelten. Die äusserst klare, der praktischen Ausführung entnommene Zeichnung stellt einen von der Union, Elektrizitäts-Gesellschaft für Berlin (Grosse Berliner Pferdeeisenbahn-Gesellschaft), gebauten Motorwagen dar. Mit freundlichst gewährter Genehmigung der Redaktion der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure erfolgt die Wiedergabe dieser Zeichnung, welche zuerst in dem Vereinsorgan erschienen war. Die Veröffentlichung solcher Zeichnungen dürfte allseitig dankbar begrüsst werden.

23. Das Gleis.

Unter Hinweis auf die vortrefflichen Werke von Haarmann, »Das Eisenbahngleis« und »Die Kleinbahnen«, mögen hier einige Bemerkungen Platz finden, welche zur Beurteilung der Gleisanlage für elektrische Strassenbahnen massgebend sind.


Fig. 349.


Fig. 350.

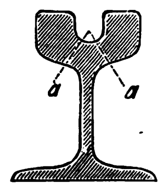


Fig. 351.

Mit den immer schwerer werdenden Betriebsmitteln und bei den immer grösser werdenden Geschwindigkeiten, hat man stärkere Schienen und bessere Verlegungsarten anwenden müssen, als beim Pferdebetrieb nötig war. Schienenprofile von 40—45 *kg* Gewicht für das Meter bilden die Regel.

Sowohl die Haarmann'sche Zwillingsschiene (Doppelschiene), wie sie schematisch Fig. 349 zeigt, als auch die Rillenschiene, wie sie durch Fig. 350 dargestellt ist, sind im Gebrauch.

Die Rillenschiene besitzt den Steg unter der Lauffläche. Für eine Bandage der Fig. 246 wären zwei Laufflächen nötig, deren gemeinsamer Steg in der Ebene der Rille (Fig. 351) liegen müsste. Hierdurch wird der zweiteilige Schienenkopf über den Steg auf Biegung beansprucht und muss am gefährlichen Querschnitt a entsprechend dimensioniert werden. Die Zwillingsschiene ist hierfür von vornherein gut geeignet, da beide Schienenprofile gleich sein können.

Eine äusserst wichtige Frage ist die der Laschenverbindung zweier Schienen. Zur Erreichung eines geräuschlosen Ganges der Wagen, als auch zur Schonung der Schienenenden und der Be-

triebsmittel hat man die intensivsten Mittel angewandt, um feste Verbindung zu erreichen. Fig. 352 zeigt die übliche Profilverlaschung der Rillenschienen.

Jede Laschenverbindung eines Schienenstosses, und sei dieselbe noch so fest zusammengezogen und gesichert, wird mit der Zeit locker, und zwar um so früher, je schwächer das Schienenprofil bezw. die Laschenkonstruktion, je grösser das Wagengewicht bezw. der Raddruck und je weniger solid die Unterbettung der Schienen ist. Beim Strassenbahngleis kommt gegenüber dem auf eigenem Bahnkörper verlegten

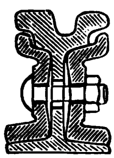


Fig. 352.

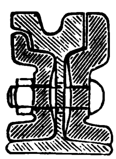


Fig. 253.

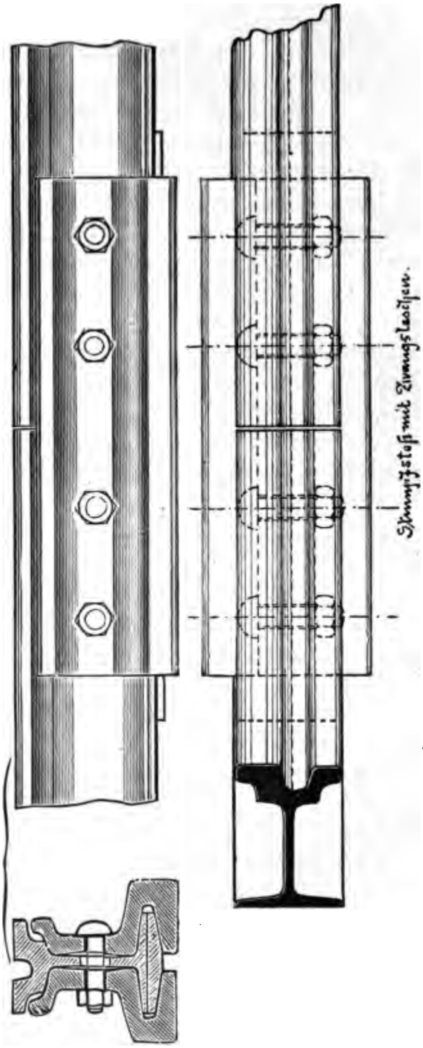


Fig. 354.

Eisenbahngleis noch der Übelstand hinzu, dass die Laschenschrauben durch die Einpflasterung unzugänglich bleiben, und nicht regelmässig nachgezogen werden können.

Es empfiehlt sich daher, bei der Einpflasterung der Schienenstösse besondere Rücksicht auf leichte Zugänglichkeit der Laschenschrauben zu nehmen.

Die Überblattung des Schienenkopfes durch die Lasche zeigt Fig. 353. Die neueste und bis jetzt die beste Laschenanordnung wird durch die Fig. 354 zur Anschauung gebracht. Hier bildet die Lasche eine äusserst feste Verbindung mit dem Schienenprofil und entlastet die Schrauben vollständig. Über Schienen, welche an den Enden zusammengeschweisst sind, siehe auch Abschn. 14, Seite 119.

24. Berechnung der Motorwagen.

Die Fähigkeit des Elektromotors, sich in grossen Grenzen seiner Leistung zu bewegen, machen ihn besonders geeignet für den Betrieb von Fahrzeugen aller Art. Ein dem Elektromotor annähernd gleich grosses Bereich von Leistung weist nur noch das Pferd auf, welches aus diesem Grunde wohl auch nie verdrängt werden wird.

Die Anzugskraft eines Gefährtes übersteigt den dreifachen Wert der normalen Zugkraft; dieser momentanen Mehrbelastung ist sowohl der Elektromotor als auch das Pferd gewachsen, ohne Schaden an seiner Konstruktion und Beschaffenheit zu nehmen und ohne annähernd mit dem schlechten Nutzeffekt zu arbeiten, wie dies anderen Motoren eigen ist. Hierbei ist noch zu berücksichtigen, dass der Elektromotor bei starken Leistungen auf Steigungen und Kurven, bei starkem Verkehrsandrang und Verwendung von entsprechenden Anhängewagen immer noch anwendungsfähig bleibt, wo andere Motoren längst die Konkurrenz wegen mangelhaften Nutzeffektes aufgeben mussten. Die Berechnung der Motoren selbst ist in dem vorstehenden Abschn. 21 c behandelt worden, sodass uns hier nur noch die Berechnung der Zugkraft und Leistung des Motorwagens zu beschäftigen braucht.

Soll das Adhäsionsgewicht des Motorwagens zum Ziehen von Anhängewagen ausgenutzt werden, so interessiert es uns noch, das hierzu nötige Adhäsionsgewicht zu kennen.

Die nachstehende Formelentwickelung giebt eine einfache Übersicht hierfür.

Es bedeuten:

P = das Gewicht des beladenen Motorwagens einschliesslich der Motoren in *t*.

Q = das Gewicht des beladenen Anhängewagens in *t*.

L = Leistung des Motorwagens in PS.

z = Zugkraft des Motorwagens in *kg*.

w = Bahnwiderstand auf der Horizontalen in *kg* für die *t* (bei Strassenbahnen 10 bis 12).

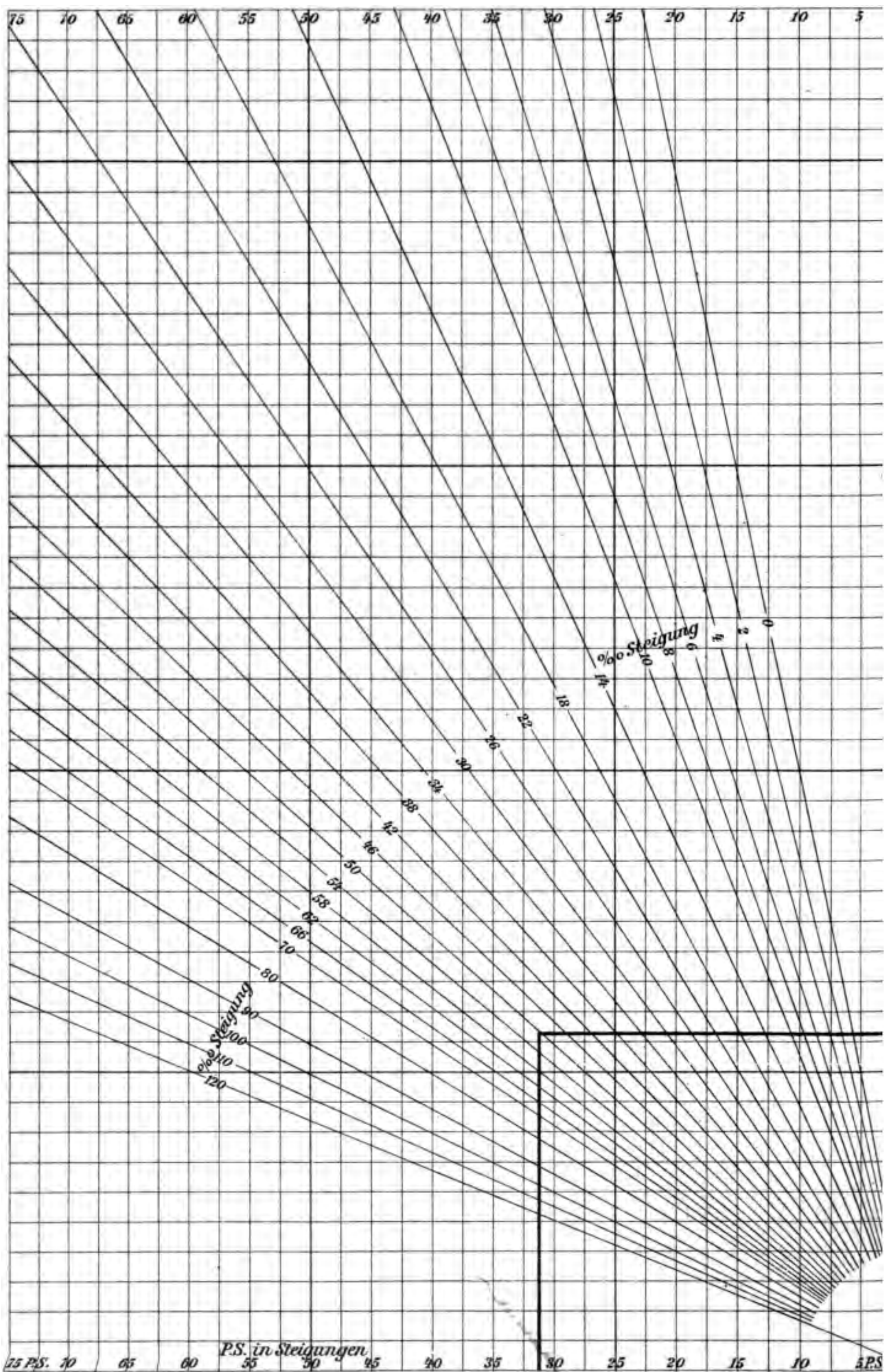
$\frac{1}{n}$ = Steigungsverhältnis.

W = Bahnwiderstand auf der Steigung in *kg* für die *t* $\left(W = w + 1000 \frac{1}{n}\right)$.

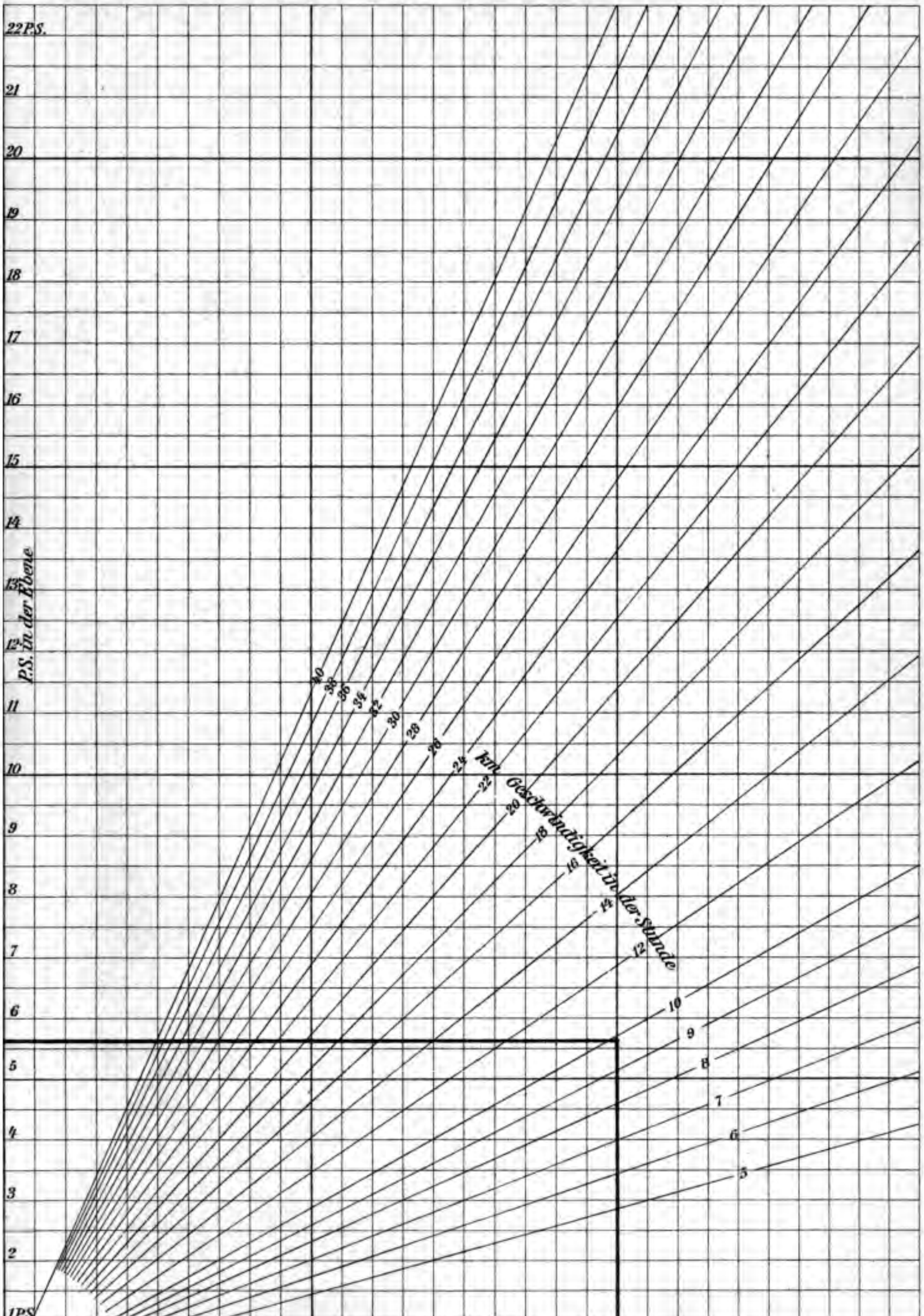
V = Geschwindigkeit in *km* in der Stunde.

v = Geschwindigkeit in *m* in der Sekunde $\left(v = \frac{V}{3,6}\right)$.

α = Nutzeffekt des Motors.


75 70 65 60 55 50 45 40 35 30 25 20 15 10 5
‰ Steigung
0 2 4 6 8 10 14 18 22 26 30 34 38 42 46 50 54 58 62 66 70 80 90 100 110 120
‰ Steigung
P.S. in Steigungen
75 P.S. 70 65 60 55 50 45 40 35 30 25 20 15 10 5 P.S.

III.



Leipzig, Oskar Leiner.

f = Verhältnis des Motorwagengewichtes in *kg* zur Zugkraft in *kg* $\left(\frac{1000\,P}{z}\right)$

(bei Strassenbahnen kann man f = 7 bis 8 nehmen).

$$z = \frac{1000\,P}{f} = W \cdot (Q + P)$$

$$1000\,P = f \cdot W\,(Q + P) = f \cdot W \cdot Q + f \cdot W \cdot P.$$

$$1000\,P - f \cdot W \cdot P = f \cdot W \cdot Q$$

$$P\,(1000 - f \cdot W) = f \cdot W \cdot Q$$

$$P = \frac{f \cdot W \cdot Q}{1000 - f \cdot W} = \text{Mindestgewicht des Motor-}$$

wagens, wenn derselbe einen oder mehrere Anhängewagen mit einem Gesamtgewicht = Q ziehen soll.

$$z = \frac{1000\,P}{f} = \frac{1000\,\frac{f \cdot W \cdot Q}{1000 - f \cdot W}}{f} = \frac{1000}{f} \cdot \frac{f \cdot W \cdot Q}{1000 - f \cdot W}$$

$$z = \frac{1000 \cdot W \cdot Q}{1000 - f \cdot W}$$

$$L = W \cdot (P + Q)\,\frac{V}{3{,}6} \cdot \frac{1}{75} \cdot \frac{1}{\alpha} = \frac{W \cdot V \cdot (P + Q)}{270 \cdot \alpha}$$

Die Leistung des Motorwagens, welche nach dieser Formel berechnet wird, hat zur Bedingung, dass der Wert = für P $\frac{f \cdot W \cdot Q}{1000 - f \cdot W}$ erreicht wird.

Die Tafel III zeigt eine Strahlenschar, deren Werte aus obiger L-Formel berechnet sind und zwar liegen für w, α und f folgende mittlere Annahmen zu Grunde:

$$w = 11\,kg;\ \alpha = 0{,}72;\ f = 8.$$

Die zu den entsprechenden Leistungen gehörenden Stromstärken sind berechnet bei 736 Watt für die PS und bei 500 Volt Betriebsspannung.

Der Gebrauch des Diagramms ergiebt sich aus folgendem Beispiel: Angenommen das Wagengewicht sei 10 *t* und die verlangte Geschwindigkeit 10 *km* in der Stunde, so geht man, wie die stärkere Linie anzeigt, von dem 10 *t*-Punkt senkrecht bis zum Schnittpunkt mit der schrägen 10 *km*-Linie. Von hier zieht man eine Wagerechte bis zum Schnittpunkte mit der mittleren Senkrechten und findet im vorliegenden Falle, dass 5,65 PS erforderlich sind, um den 10 *t*-Wagen mit 10 *km*-Geschwindigkeit in der Stunde auf ebener Bahn zu befördern. Um die Leistung auf einer Strecke mit z. B. 50‰ Steigung zu finden, hat man die vorerwähnte Wagerechte nur bis

zum Schnittpunkt mit der betreffenden Steigungslinie zu verlängern und dann auf die Abscisse des Diagramms zu projizieren. Es ergiebt sich mithin eine Leistung von 31,3 PS.

Hierbei ist vorausgesetzt, dass der Nutzeffekt des Motors konstant bleibt, was indes nur annähernd bei Nebenschlussmotoren der Fall sein wird. Ist bei einem bestimmten Beispiel die Variation des Nutzeffektes bekannt, so werden an Stelle der Strahlen entsprechende Kurven treten.

Nach einer sehr eingehenden Untersuchung seitens eines Leiters der elektrischen Strassenbahnen in Boston soll die Temperatur einen merklichen Einfluss auf den Energieverbrauch der elektrischen Strassenbahnwagen besitzen. Der erwähnte Fachmann hat gefunden, dass bei einer gegebenen Anzahl Wagen der Konsum an elektrischer Energie bei grosser Kälte höher war, als bei mittlerer Temperatur. Er schreibt dies der gefrorenen Erde, welche an gewissen Stellen die Schienen überzieht, und dem Steifwerden des Schmiermaterials in den Schmierbüchsen zu.

Für die Berechnung der spezifischen Zugkräfte hat die Praxis Werte ergeben, welche einiges Interesse weniger durch ihre Neuigkeit bieten, als vielmehr dadurch, dass sie aus dem elektrischen Bahnbetriebe stammen.

Der innere Widerstand des Motorwagens, d. h. Lagerreibung, Zahnräderreibung, rollende Reibung auf der Laufschiene, Luftwiderstand, Schienenwiderstand hervorgerufen durch die Spurkränze, Kohlenbürstenreibung, Wagenkontaktreibung, kurz alles, was der fortbewegenden Kraft in der Horizontalen einen nur denkbaren Widerstand entgegensetzt, oder alles, was einer geleisteten Arbeit entsprechend in Wärme, Schwingungen u. s. w. umgesetzt wird, ist durch einen Motorwagen von 1 *m* Spur und 1,5 *m* Achsstand, bei 80 *cm* Laufrädern, bei trockenem Wetter und mässig reiner Rillenschiene dadurch festgestellt worden, dass er in einem Gefälle von 1 : 88 sich selbst überlassen wurde. Der Wagen lief von selbst an und hielt sich in gleicher Geschwindigkeit ohne weitere Beschleunigung bei der Fahrt. Somit sind $\frac{1000}{88} = 11{,}4$ *kg* für die Tonne Wagengewicht zur Überwindung obengenannter innerer Widerstände erforderlich. Setzt man nun für die Zahnräderreibung bei der Arbeit einen etwas höheren Wert ein, als beim Leerlauf, so ist mit 11,5 bis höchstens 12 *kg* der ungünstigste Mittelwert für den inneren Wagenwiderstand erreicht. In einer Kurve von 25 *m* Radius, welche im Gefälle 1 : 29 liegt, setzte sich derselbe Wagen unter denselben Verhältnissen, wie oben beschrieben, nicht von selbst in Bewegung, sondern bedurfte eines kleinen Stromstosses zum Anfahren. Alsdann nahm die Beschleunigung nicht zu, ein Zeichen dafür, dass die Grenze erreicht ward.

Besagtes Gefälle giebt in gerader Strecke eine Zugkraft von $\frac{1}{29} \cdot 1000 = \sim 34{,}5$ *kg* für die Tonne zurück. Von diesen 34,5 *kg* gehen für Überwindung der inneren und äusseren Wagenreibung 11,5 *kg* ab, sodass $34{,}5 - 11{,}5 = 23$ *kg* für die Tonne zur Überwindung der vermehrten Schienenreibung einer Kurve von 25 *m* Radius erforderlich ist.

In einer Kurve von 30 *m* Radius, welche im Gefälle 1 : 25 liegt, lief der Wagen unter gleichen Verhältnissen, wie vorher, mit Leichtigkeit an und erhielt sogar noch eine Beschleunigung. Durch dieses Gefälle wird eine Zugkraft von $\frac{1}{25} \cdot 1000 = 40$ *kg* für die Tonne frei. Hiervon ist wieder die innere und äussere Wagenreibung auf der Horizontalen mit 11,5 *kg* in Abzug zu bringen, sodass sich $40 - 11{,}5 = 28{,}5$ *kg* Zugkraft für die Tonne zur Überwindung der vermehrten Schienenreibung in einer Kurve von 30 *m* ergiebt. Da der Wagen noch Beschleunigung erhält, so stellt 28,5 den grösstmöglichen Wert dar.

Der Trägheitswiderstand beim Anfahren und bei Geschwindigkeitsbeschleunigung ist für alle Fälle der gleiche.

Die überschüssige Arbeit, die sowohl im Gefälle als auch beim Anhalten der Wagen als nutzlose Arbeit an den Bremsklötzen in Wärme umgewandelt wird, muss von Fall zu Fall als Bremszuschlag bestimmt werden und ist ausser den in Rechnung zu ziehenden Faktoren auch von der Geschicklichkeit des Wagenführers abhängig. Normale Verhältnisse werden mit einem Zuschlag zur durchschnittlichen Leistung von 15—25 % ein genügend genaues Resultat ergeben.

Es muss nun dem Ingenieur überlassen bleiben, die Werte der vorstehenden Tafel mit den entsprechenden Kurven- und Bremszuschlägen von Fall zu Fall zu ergänzen.

An dieser Stelle sei auf die Arbeit von Dr. Max Corsepius über »Grundlagen für die Berechnung und den Bau elektrischer Bahnen« (Stuttgart 1896, Verlag von Ferdinand Enke) hingewiesen, woselbst über die Arbeitsgrössen am Motorwagen und im Bahnkraftwerke eingehende Berechnungen aufgestellt sind.

25. Stationswiderstand.

Ehe die Betriebsmaschinen des Bahnkraftwerkes dem Betriebe übergeben werden, macht sich zur Feststellung ihrer Leistung eine Arbeitsbremsung für mehrere Stunden eventuell Tage notwendig. Gewöhnlich wird ein 6—12stündiger Versuch mit konstanter Belastung vorgenommen, um den Dampfverbrauch, die zulässige Maxi-

malleistung und den Nutzeffekt der Dampfdynamo bei normaler Leistung festzustellen, bevor die Maschine dem Lieferanten abgenommen wird.

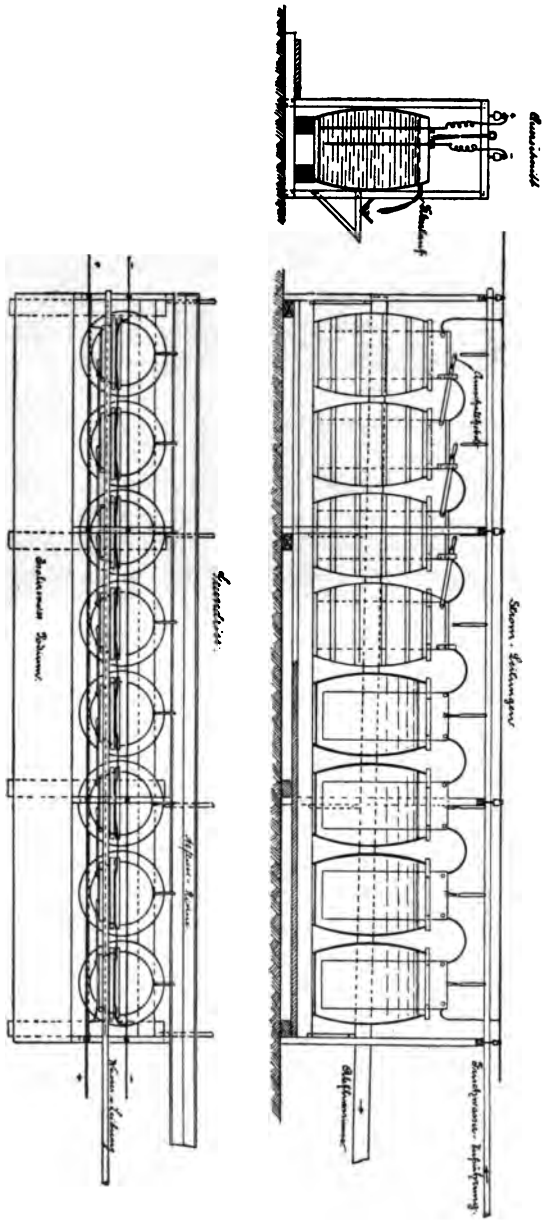


Fig. 355.

Da das Bremsen grösserer Dampfmaschinen mit dem Pronyschen Zaun Schwierigkeiten verursacht, wird man das bequemere Mittel der Messung der elektrischen Energie, welche von der angetriebenen Dynamomaschine erzeugt wird, vorziehen, zumal es sich stets um die Untersuchung des ganzen Maschinenaggregates (Dampfmaschine + Dynamomaschine) handelt. Die Stromabgabe in das Leitungsnetz wird meist zu schwankend sein, um als konstante Belastung gelten zu können, sodass man genötigt sein wird, in besonderen Belastungswiderständen die elektrische Energie zu vernichten.

Widerstände von Drahtspiralen oder Metallbänder aus Nikelin, Kruppin oder Eisen werden auch in eigener Werkstatt schwierig und teuer herzustellen sein. Man geht dann gern zu dem einfachen Mittel über, den Strom in Wasser zu leiten und darin die Arbeit in Wärme oder chemische Energie umzusetzen.

Hierfür giebt Stobrawa folgende äusserst einfache und praktisch gut bewährte Anordnung an, welche in der Fig. 355 nach seinen eigenen Zeichnungen veranschaulicht wird:

Bei der Konstruktion dieses Wasserwiderstandes hat man zu beachten, dass die Stromstärke ausser von der gegenseitigen Entfernung der Pole, von der eingetauchten Fläche derselben und der Leitungsfähigkeit der dazwischen befindlichen Wasserschicht abhängig ist.

Da das Wasser durch eingeleiteten Strom erwärmt und seine Leitungsfähigkeit erhöht wird, ist zur Erzielung eines gleichbleibenden Widerstandes auch die Einhaltung einer konstanten Temperatur und Zusammensetzung der Flüssigkeitsschicht, also deren ständige Erneuerung erforderlich.

Diese Bedingung ist mit Wasser, welches einen Zusatz von Säure zur Erhöhung seiner Leitungsfähigkeit erhalten hat, sehr schwierig durchzuführen.

Der für gewöhnliches Leitungs-, Fluss- und Brunnenwasser mit einfachen Mitteln hergestellte Apparat, welcher wiederholt für Maschinenleistungen bis 650 effektive PS, d. i. 800 Ampère bei 570 Volt, zur Anwendung gekommen ist, hat bei Dauerversuchen ausgezeichnet funktioniert.

Von einer Anzahl leerer Ölfässer (für je 100 Ampère ein Fass) wird der obere Boden entfernt, die Fässer gut gereinigt und in einer Reihe auf Holzunterlage gestellt. In jedes Fass werden zwei Eisenblechplatten von 3—4 *mm* Dicke als Polplatten gehängt und reihenweise mit den Stromzuleitungen verbunden. Während die eine Reihe der Eisenplatten durch eine gemeinsame über alle Fässer hingehende Latte in diesen feststehend gemacht wird, ist in der anderen Reihe jede Platte für sich verschiebbar angeordnet, um in jedem Fass besonders den Abstand der Platten und damit die Stromstärke

regulieren zu können. Die verschiebbaren Platten sind miteinander durch angeschraubte Leitungen verbunden, die elektrische Verbindung der feststehenden. Platten geschieht jedoch durch Hebeleinschalter aus Flacheisen. Die letztere Einrichtung dient zur beliebigen Ab- und Zuschaltung der Fässer und eignet sich besonders gut zur plötzlichen Ent- und Belastung der Maschine bei der Prüfung der Güte ihrer Regulierung. Über den Fässern befinden sich, von einem Holzgestell getragen, die auf Isolatoren oder als Kabel verlegten Stromzuleitungen, sowie ein mit der Wasserleitung verbundenes Rohr, aus welchem jedes Fass durch einen engen Stutzen konstanten Zufluss erhält. Eine gemeinsame Rinne nimmt das aus den Ablaufstutzen der Fässer abfliessende heisse Wasser auf, um es der Kanalisation zuzuführen.

Für eine Betriebsspannung von 550 Volt mussten zur Erreichung einer Stromstärke von 100 Ampère pro Fass die Eisenplatten von je $^1/_8$ *qm* eingetauchter einseitiger Fläche etwa 12 *cm* nahe aneinandergerückt werden. Diese Entfernung variiert mit der Qualität des zugeführten Wassers und gilt in dem angegebenen Falle für gutes städtisches Leitungswasser.

Es hat sich ferner herausgestellt, dass eine gleichbleibende Belastung erzielt wurde, wenn das mit etwa 9° Wärme zugeführte Wasser mit ungefähr 85° Wärme wieder abfloss; ist dieser Beharrungszustand einmal erreicht, so braucht man stundenlang keine Verschiebung der Platten oder Änderung des Zuflusses mehr vorzunehmen.

Die elektrische Energie wird bei Zuführung reinen Wassers hauptsächlich nur in Wärme umgesetzt, sodass die Eisenplatten, zumal wenn dieselben noch die vom Walzen herrührende Oxydschicht (die Walzhaut) haben, auch in längeren Versuchen sehr wenig angegriffen werden. Beim Vorhandensein von Salzen oder Säuren im Wasser tritt jedoch auch Elektrolyse auf, zerstört die Platten und verursacht Überkochen der Fässer, oder bei zu grossem Stromdurchgang leicht Kurzschluss.

Da das heisse Wasser stark verdunstet, empfiehlt es sich, den Apparat ausserhalb des Maschinenhauses im Freien aufzustellen, zumal derselbe gegen Regen und atmosphärische Einflüsse unempfindlich ist. Nach Beendigung des Versuches thut man gut, die Eisenplatten herauszunehmen, zu reinigen und trocken aufzubewahren, während die Fässer, mit Wasser gefüllt, sich am besten bis zur nächsten Ingebrauchnahme, die für obigen Zweck bei der stetigen Vergrösserung der Maschinenanlagen für Bahnkraftwerke nicht lange auf sich warten lässt, dauernd dicht erhalten.

V.
Betriebsführung.

In den folgenden Abschnitten soll versucht werden, dem Betriebsführer einer elektrischen Bahn einige Anhaltspunkte an die Hand zu geben, welche sich aus älteren Betrieben ergeben haben. Von vornherein muss jedoch darauf verzichtet werden, auch nur annähernd eine erschöpfende Darstellung zu geben, da die Wechselfälle des Betriebes allzu vielseitig sind, um in ein Schema zu passen.

26. Fahrpläne für elektrischen Bahnbetrieb.

Es ist bekannt, dass jede Maschine am sparsamsten arbeitet, wenn sie mit der normalen Konstruktionsleistung beansprucht wird. Es werden in der Praxis natürlich Fälle eintreten, wo bei maximaler Leistung selbst bei spezifisch höherem Kohlen- und Wasserverbrauch eine Ersparnis darin liegt, dass z. B. die Dampfmaschinenanlage für den gewöhnlichen Betrieb kleiner sein kann, als im Maximum erforderlich wäre. Das Anlagekapital und somit auch die Verzinsung und Amortisation bleiben kleiner, dafür aber wird bei höchster zulässiger Beanspruchung die Betriebsunterhaltung für die PS-Stunde grösser. Hieraus folgt, dass diese Forcierung nur dann zulässig sein kann, wenn die maximale Beanspruchung z. B. 10% in der Zeitrechnung nicht übersteigt. Natürlich bleiben hierfür Kohlen-, Wasser- und Maschinen-Preise massgebend. Bei Dampfeisenbahnen ist es nun nicht möglich, die Lokomotivmaschinen stets mit der normalen Leistung arbeiten zu lassen. Dieselbe Lokomotive muss bald leichte, bald schwere Züge schleppen (d. h. innerhalb gewisser Grenzen), muss auf Steigungen und auf der Horizontalen mit grösserer und kleinerer Leistung arbeiten und hat selbst beim Stillstand einen Energieverlust durch Wärmeabgabe, mithin den schlechtesten Nutzeffekt.

Der Elektromotor im Wagen muss ebenfalls verschiedenen Leistungen gewachsen sein; für seinen Stillstand braucht er aber keine Energie. Dadurch, dass seine Leistung proportional dem zu-

geführten elektrischen Strom ist, ist es möglich, auf der stromerzeugenden Station den Stromverbrauch immer auf der gleichen Höhe zu erhalten, wenn der Fahrplan derartig eingerichtet ist, dass sich der maximale Arbeitsverbrauch des einen Wagens mit dem minimalen Verbrauch des anderen Wagens deckt, d. h. fährt der eine Wagen auf der Steigung, so soll der zweite Wagen im Gefälle fahren; fährt der dritte Wagen an, dann soll der vierte Wagen bremsen, d. h. ohne Strom fahren; muss der fünfte Wagen schnell fahren, so soll möglichst der sechste langsam fahren. Wenn es nach dieser Aufstellung möglich wäre, einen genauen Fahrplan herzustellen, würde man in der Primärstation stets den gleichen Stromverbrauch haben und somit stets die gleiche Leistung an den Dampfmaschinen und Dynamomaschinen, für welche dieselben rationell konstruiert werden können. Die Schwankung der Dampfmaschinenleistung unter die normale Beanspruchung verlangt ebenfalls eine spezifisch höhere Betriebsausgabe, und man wird die Anlage am rationellsten herstellen, betreiben und unterhalten können, deren Fahrplan die geringsten Schwankungen in der Summe sämtlicher Wagenbeanspruchungen zeigt. Soweit sich dieser Standpunkt praktisch ausführen lässt, soll er bei der Aufstellung eines Fahrplanes berücksichtigt werden. Dies wird um so leichter sein, wenn die Anzahl der Wagen, bezw. Züge wächst und die Grösse der voneinander unabhängig sich bewegenden Fahrzeuge fällt.

Bei Bahnen mit starkem Sonntagsverkehr wird man versuchen, ebenfalls gleichmässige Beanspruchung an den Sonntagen herzustellen, jedoch heisst es dann, mehr dem Verkehr sich anzupassen, als auf Kohlenersparnis zu sehen. Die Kohlenverschwendung macht sich dann durch den intensiveren Sonntagsverkehr bezahlt.

27. Verhältnis des Energieverbrauchs zu den Betriebskosten bei elektrischen Bahnen.

Für die Verteilung der Betriebskosten einer elektrischen Bahn, die mit Motor- und Anhängewagen betrieben wird, gelten folgende Gesichtspunkte. Eine rohe Teilung, z. B. nach dem Gewichtsverhältnis beider Wagensorten, würde zu einem falschen Resultate führen. Die Gesamtausgaben setzen sich zusammen aus:

1. Allgemeine Verwaltungskosten, wie Betriebsleiter und Büreaupersonal, Kontroll- und Aufsichtsbeamte.

2. Löhne und Kleidung u. s. w. für Wagenführer und Schaffner.

3. Kosten an Kohlen, Wasser, Schmier- und Putzmaterial, Reparaturen, Erneuerungen und Löhne für die Stromerzeugung.

4. Kosten für Reparaturen und Erneuerungen der Stromzuführung.

5. Kosten für Reparaturen und Erneuerungen der Gleise.

6. Kosten für Reparaturen und Erneuerungen des rollenden Materials.

7. Kosten für Reparaturen und Unterhaltung der Baulichkeiten.

Zu Punkt 1. Die Art des Wagens wird keinen Einfluss auf die allgemeinen Verwaltungskosten haben, somit bleibt für die Teilung die Anzahl der Wagenkilometer massgebend.

Zu Punkt 2. Vorausgesetzt, dass Führer und Schaffner gleiche Löhne beziehen, so wird, da der Motorwagen einen Führer und einen Schaffner besitzt, während der Anhängewagen nur von einem Schaffner begleitet wird, zu obigem Verhältnis noch dasjenige von 2 : 1 hinzutreten.

Zu Punkt 3. Hier liegt der Gedanke nahe, einfach das Verhältnis der Gewichte der beiden Wagensorten d. h. die Anzahl der Tonnenkilometer anzuwenden. Der elektrische und maschinelle Teil des Motorwagens verschlingt indessen eine gewisse Energie, welche nicht mehr in Form von Zugkraft zum Vorschein kommt, sondern in Form von elektrischen und mechanischen Reibungen in den Elektromotoren und in dem Übertragungsmechanismus verloren geht. Diese verlorene Energie, auch Leerlaufarbeit des Motorwagens genannt, beträgt ca. 20% des Gesamtenergieverbrauches bei normaler Leistung. Bei guter Konstruktion und guten Motoren bleibt die Leerlaufarbeit dieselbe, oder schwankt nur zwischen engen Grenzen, ob der Motorwagen leer oder besetzt, allein oder mit Anhängewagen fährt, vorausgesetzt, dass die Motoren stark genug konstruiert, und dass denselben der Strom mit normaler Spannung zugeführt wird.

Ist z. B. das Gewicht eines Motorwagens = 8 *t* und der Stromverbrauch = 10 Ampère, der durch die Leerlaufarbeit verzehrte Strom = 2 Ampère, so bleibt 1 Ampère für die Tonne als befördernde Kraft übrig. Dieser Stromverbrauch von 1 Ampère ist nun für jede Tonne eines Anhängewagens zu rechnen, da dieser weder Motoren noch übertragende Mechanismen hat, somit also keine Leerlaufarbeit besitzt. Ist das Gewicht des Anhängewagens z. B. = 5 *t*, so ist das Verhältnis des Stromverbrauches der Motorwagen zu demjenigen der Anhängewagen also nicht 8 : 5, sondern 10 : 5 oder 2 : 1.

Zu Punkt 4. Vorausgesetzt, dass die Leitung genügend stark bemessen ist, wird es auf dieselbe keinen Einfluss ausüben, ob mehr oder weniger Strom durchfliesst, d. h. mit anderen Worten, ob die Motorwagen mit oder ohne Anhängewagen fahren. Die Abnutzungen und Beschädigungen der Leitung rühren allein von dem Stromabnehmer des Motorwagens her, welchem daher allein die diesbezüglichen Kosten der Reparaturen und Erneuerungen zur Last fallen.

Zu Punkt 5. Die Kosten für die Gleisreparaturen und Erneuerungen sind nach den Zahlen der beiderseits geleisteten Tonnenkilometer zu teilen.

Zu Punkt 6. Hierbei muss wieder vorausgesetzt werden, dass die elektrische und maschinelle Einrichtung des Motorwagens genügend stark bemessen ist, um noch Anhängewagen zu ziehen. Es wird alsdann der Anhängewagen an den Kosten der Reparaturen und Erneuerungen des Motorwagens nicht teilnehmen. Die Defekte des elektrischen Teiles des Motorwagens entstehen nicht durch Durchfliessen eines stärkeren Stromes, wenn mit Anhängewagen gefahren wird, falls die normale Grenze nicht überschritten wird, sondern durch Feuchtigkeit und Erschütterungen und sind Eigentümlichkeiten des Motorwagens. Der Betrag, um welchen die natürlichen Abnutzungen der Lagerschalen und Übertragungsmechanismen des Motorwagens dadurch höher ist, dass ein Wagen angehängt wird, ist so minimal, dass derselbe hier ruhig ausser Betracht bleiben kann. Die Kosten der Reparaturen und Erneuerungen der Motorwagen fallen also diesen allein zur Last, das gleiche gilt für die Anhängewagen.

Zu Punkt 7. Diese Kosten werden dem Motor- wie dem Anhängewagen gleichmässig zur Last fallen.

Für die Berechnung des durchschnittlichen Tonnenkilometers ist das Eigengewicht des Wagens und das Gewicht der durchschnittlichen Personenbesetzung massgebend. Ist z. B. der Wagen für 30 Personen eingerichtet, und ist, wie in den günstigsten Fällen die durchschnittliche Besetzung nur $^1/_3$, so können zu dem Eigengewicht nur 10 Personen von je 75 *kg* in Rechnung gezogen werden.

28. Betriebskosten.

Die Betriebskosten elektrischer Bahnen beginnen bei der Erzeugung des elektrischen Betriebsstromes. Seien die Anlagen nun gross oder klein, sie erfordern stets ein und dasselbe Personal in der Erzeugerstation, welches sich sogar in der Anzahl in bestimmten Grenzen hält und ziemlich unabhängig ist von dem Stromverbrauch der Bahnanlage. Es ist klar, dass zur Unterhaltung einer 100pferdigen Dampfmaschine nebst Dynamomaschine bezw. eines hierzu gehörigen Kessels die gleiche Ausnutzung einer Menschenkraft erforderlich ist, als bei einer doppelt oder vierfach so grossen Maschinenanlage. Die Handgriffe, die Beobachtungen der bewegten Teile sind bei der grossen Anlage die gleichen wie bei der kleinen. Selbst bei der Kesselbedienung, woselbst das Gewicht des Feuerungsmaterials eine grosse Rolle spielt, ist anzunehmen, dass die gleiche Menschenkraft bei grosser oder kleiner Anlage genügt, wenn man

entsprechende Hilfsapparate für die Kohlenförderung u. s. w. voraussetzt. Andererseits aber ist der Grösse einer Gleichstrom-Kraftstation sehr bald eine Grenze vorauszusagen, wenn es sich um normale Anlagen handelt. Sache des Ingenieurs bleibt es, besondere Abweichungen dem allgemeinen Rahmen anzuschmiegen.

Durch die Anzahl der Wagenkilometer, durch die Wagen- bezw. Zugfolge, durch die Längenausdehnung und Höhenlage des Netzes ist die technisch und finanziell gute Ausnutzung eines Bahnkraftwerkes bestimmt.

Die Ausgaben für die Stromerzeugung können daher folgendermassen zusammengestellt werden:

1. Gehalt eines Maschinen- und Werkmeisters, sowie eines Materialverwalters.

2. Gehalt für zwei Maschinisten, welche sich im Dienst ablösen müssen, wenn nur mit Tagesschicht gearbeitet wird. Wird der Betrieb Tag und Nacht nicht unterbrochen, so müssen drei Maschinisten den Dienst versehen.

3. Für jeden der beiden Fälle müssen je nach der Grösse der Anlage, Hilfsmaschinisten vorgesehen werden, die im Krankheits- oder Urlaubsfalle sofort die Maschinisten vertreten können.

4. Löhne für Schmierer.

5. Löhne für zwei Kesselheizer (bezw. drei Kesselheizer) für jeden Betriebskessel oder jede Betriebskesselgruppe.

6. Löhne für Hilfskesselheizer bezw. Kohlenfahrer.

7. Löhne für Schlosser } zur Erhaltung des maschinellen Teils
8. Desgl. für Arbeiter } der Maschinen und Kesselanlagen.

9. Zuschüsse zur Krankenkasse für obiges Personal im Mittel 1 % der Löhne.

10. Zuschüsse zur Invaliditäts- und Alters-Versicherung für obiges Personal im Mittel 15 Pfg. für den Mann und die Woche.

11. Zuschüsse zu bestehenden Pensions- und Unterstützungskassen, welche je nach den Gepflogenheiten des Unternehmens zu bilden sind.

12. Unterhaltung der Geräte und Werkzeuge, welche zu den Reparaturen der maschinellen Anlagen gebraucht werden.

13. Grössere Materialien, welche zu Reparaturen der maschinellen Anlagen gebraucht werden.

Die nun folgenden Stromerzeugungskosten sind mit dem Stromverbrauch im Betriebe proportional veränderlich:

14. Brennmaterial.

Um eine Tonne Bruttolast mit einer vorgeschriebenen Geschwindigkeit fortzubewegen, ist eine bestimmte Arbeitsleistung erforderlich. Es muss also eine Rechnung durchgeführt werden, welche alle Verluste in der Arbeitsumsetzung berücksichtigt.

Am bewegten Wagen angefangen, ergiebt sich zunächst der Wert

für die Zugkraft zur Überwindung der inneren und äusseren Wagenwiderstände. Wenngleich bei jeder Bahn die spezifische Zugkraft je nach der Art der Schiene, nach der Beschaffenheit des Gleises, nach der Spurweite, nach dem Achsstand, nach dem Rad- und Flanschdurchmesser, sowie nach dem Widerstand der Lager und Übertragungsmechanismen variiert, so dürfte bei allen Bahnen gleicher Gattung ein guter Mittelwert für obige Berechnung genügen, der im Abschn. 24 mit 11,5 *kg* berechnet wurde. Für die Berechnung des Kohlenverbrauches ist ferner die Zugkraft für Überwindung der Kurvenwiderstände und für die, durch Bremsung beim Anhalten und Thalfahren verbrauchte Arbeit in Rechnung zu ziehen. Ein der Praxis entsprechender Zuschlag, je nach der Anzahl der Haltestellen und je nach dem befahrenen Gelände ist 15—20 %. Nur in den Gefällen, welche steiler als 1 : 88 sind, wird Arbeit totgebremst, sofern nicht durch Stromwiedergewinnung aus den Elektromotoren auch diese Arbeit zum Teil wieder nutzbar gemacht wird.

Für die genaue Berechnung des Kohlenverbrauches ist es erforderlich zu wissen:

1. den Heizwert der Kohle,
2. den Nutzeffekt der Kesselanlage,
3. » » » Dampfleitung,
4. » » » Dampfmaschine,
5. » » » Übertragung von der Dampfmaschine zur Dynamomaschine (bei direkter Kuppelung = 100 %),
6. den Nutzeffekt der Dynamomaschine,
7. den mittleren Spannungsabfall in der Stromleitungsanlage,
8. den Nutzeffekt der Wagenmotoren,
9. » » der Wagen-Transmission und des Wagens selbst.

Ein der Praxis entsprungener Wert für den Kohlenverbrauch unter Verwendung von:

1. guter westfälischer Stückkohle,
2. Röhrenkesseln,
3. Verbunddampfmaschine mit 8,3 *kg* Dampfverbrauch für die effektive Pferdekraftstunde bei Kondensation,
4. Kondensationsvorrichtungen mit 65 *cm* Vakuum,
5. Riemenübertragung,
6. Nebenschluss-Dynamos,
7. 5 % mittlerem Spannungsabfall in der Stromleitung,
8. Serienmotoren in den Wagen,
9. Wagen und Schienen, welche, wie oben berechnet, 11,5 *kg* Zugkraft pro *t* erfordern,

ist = 0,15 bis 0,20 für ein Motorwagen-Tonnenkilometer = 50 Wattstunden bei durchschnittlicher Wagengeschwindigkeit von 12 *km* in der Stunde.

Der Kohlenverbrauch für ein Anhängewagen-Tonnenkilometer unter sonst gleichen Verhältnissen entspricht dem vorher berechneten Wert. (Siehe S. 329.)

Zu diesem reinen Kohlenverbrauch kommt noch der Verbrauch an Brennholz zum Anfeuern, welcher jedoch unabhängig von der Anzahl der zu leistenden Wagenkilometer ist und bei durchgehendem Betriebe, d. h. wenn die Maschinen und Kessel Tag und Nacht laufen, um z. B. für Beleuchtung mit thätig zu sein, bis auf diejenigen Male in Wegfall kommt, bei denen die Kessel gewechselt werden müssen.

15. Wasser.

Nimmt man eine 8—9fache Verdampfung wie bei guten Kesseln an, so entspricht dem Kesselspeisewasserverbrauch bei vorstehendem Kohlenverbrauch $= 8 \times 0{,}2 = 1{,}6\ l$ bezw. $9 \times 0{,}2 = 1{,}8\ l$ für das Tonnenkilometer. Dieser Wert entspricht dem maximalen, weil zwar eine 8fache Verdampfung im Kessel bei normalem Betriebe möglich ist, in Wirklichkeit jedoch infolge des schwankenden Betriebes höchstens eine 6fache Verdampfung erzielt wird. Hierzu ist noch ein Zuschlag von 0,1—0,2 *l* für das Tonnenkilometer als Nebenverbrauch zu rechnen.

Der Wasserverbrauch bei Anwendung der nach dem System der Rückkühlung gebauten Oberflächen- und Einspritzkondensationen ist der gleiche, da für die Kühlung des kondensierten Dampfes immer nur so viel Wasser verdunstet, als zur Speisung der Kessel sonst erforderlich wäre.

Für beide Kondensationsarten sind zur billigen Kühlwasserbeschaffung, bezw. Wasserwiederverwendung Gradier- oder Berieselungswerke zur Aufstellung gelangt, welche durch Verdunstung eine Abkühlung bewirken und so das nötige Kühlwasser schaffen. Der Vorteil der Kondensation liegt nicht im Wasserverbrauch, sondern in der Erzielung einer höheren Dampfmaschinenleistung.

16. Öl- und Schmiermaterialverbrauch.

Für diesen Verbrauch sind die verschiedensten Umstände massgebend, welche sich nie unter einem zusammenfassen lassen. Wir müssen uns daher begnügen, gute Durchschnittszahlen anzugeben.

Es werden gebraucht in der Kraftstation für 100 000 Tonnenkilometer = 5000 Kilowattstunden:

an Maschinenmineralöl	20,0 *kg*	(frisches)	10 ℳ
» filtriertem Maschinenmineralöl	75,0 »	(gebrauchtes)	— »
» Cylindermineralöl	25,0 »		20 »
» Talg, Baumöl, Rüböl . . .	10,0 »		5 »
Öl- und Schmiermaterial:	130,0 *kg*		35 ℳ

für die stationären Maschinen.

Für die Motor- und Anhängewagen wird an Lageröl bezw. konsistentem Fett und Zahnradschmiere für 100 000 Tonnenkilometer:

an Öl, Fett und Schmiere (Glätte) 60 *kg* = 30 *M* verbraucht.

Der Kostenbetrag für den Gesamtverbrauch in der Station und an den Wagen beläuft sich daher auf 65—70 *M* für sämtliches Schmiermaterial und für 100 000 geleistete Tonnenkilometer, wobei natürlich die Kosten des filtrierten Mineralöls gleich 0 zu setzen sind.

17. Putz-, Reinigungs- und Verpackungsmaterial.

Auch hier kommt es wieder auf die sparsame Haushaltung und den vorteilhaften Einkauf bei gutem Material an. Ein statistischer Mittelwert sorgsamer Betriebsführung ist für 100 000 Tonnenkilometer 30—35 *M*.

Für Position 16 und 17 zusammen darf mithin die runde Zahl von 10 000 *Pf* für 100 000 Tonnenkilometer, d. h. für 1 Tonnenkilometer = 0,1 *Pf* gelten.

18. Reinigung der Wagen.

Dieser Posten ist unabhängig von der Konstruktion des Wagens und der Wageneinrichtung, aber abhängig von dem Reinlichkeitsgefühl des Betriebsführers. Das höchste, was je erreicht werden kann, ist, dass jeder Wagen täglich einmal gereinigt wird. Rechnet man nun, dass jeder Wagen in einer Stunde 10 *km* einschl. aller Aufenthalte zurücklegt, und dass eine 16stündige Betriebsdauer täglich stattfindet, so durchläuft jeder Wagen täglich 160 *km*. Wird die Reinigung eines Wagens in Akkord vergeben, so sind 50 *Pf* Arbeitslohn üblich. Es wird allerdings auch behauptet, dass ein Mann in den Nachtstunden nicht mehr als drei bis höchstens vier Wagen gründlich reinigen kann, wodurch sich bei einem Lohn von *M* 2,50 die Kosten der Reinigung auf 60—80 *Pf* stellen, mithin betragen die Reinigungskosten für das Wagenkilometer $\frac{50}{160} = 0{,}3$ *Pf* bis $\frac{80}{160} = 0{,}5$ *Pf*.

19. Reparaturen an Kesseln, Maschinen und Wagen.

Diese sind in zwei Gattungen einzuteilen, erstens diejenigen, welche infolge naturgemässer Abnutzung eintreten, und zweitens diejenigen, welche durch Unfälle, Störungen und Unvorsichtigkeiten entstehen.

Die ersteren Reparaturen bleiben wieder proportional den geleisteten Tonnenkilometern, während die letzteren unabhängig von diesen sind. Andererseits bleiben noch die örtlichen Verhältnisse hierfür massgebend.

Bei einem Wagen von 8 *t* Bruttolast und demgemäss von 6,5 *t* durchschnittlicher Bruttolast, wenn man berücksichtigt, dass die durchschnittliche Belastung durch Personen höchstens $^1/_3$ des

Fassungsvermögens beträgt, d. h. anstatt 30 Personen à 75 *kg* nur 10 Personen à 75 *kg*, stellen sich die Reparaturkosten erfahrungsgemäss auf

0,75—1 ₰ für das Wagenkilometer in der Station,
1—3 ₰ » » » am Motorwagen, je nach Bauart und Inanspruchnahme der Wageneinrichtungen, und hierin sind sowohl sämtliche kleineren Materialien als auch Löhne des Werkstattspersonals enthalten.

20. Unterhaltung oberirdischer Stromleitungen.

Auch diese sind abhängig von der natürlichen Abnutzung und Veränderung, sowie von unvorhergesehenen Zwischenfällen.

Hier sind beide Möglichkeiten abhängig von der Anzahl der Wagenkilometer, wenn man von Naturereignissen und mutwilligen Beschädigungen absieht. Die sachgemässe Unterhaltung lässt sich mit 0,5—0,6 ₰ für das Motorwagenkilometer bewerkstelligen.

21. Unterhaltung der unterirdischen Stromleitungen.

Man rechnet bei den nach den neuesten Erfahrungen hergestellten Unterleitungen, dass die Betriebskosten keinesfalls höher werden, als bei der Oberleitung. Weniger anzunehmen ist nicht empfehlenswert, da langjährige Statistiken hierüber noch nicht vorliegen.

22. Unterhaltung der Wagenakkumulatoren.

Hier können nur die Garantien der Akkumulatorenfabriken massgebend sein. Je nach den obwaltenden Verhältnissen können dieselben 3—5 ₰ für das Wagenkilometer betragen, was etwa 0,3 bis 0,5 ₰ für das Tonnenkilometer bedeutet.

Soweit die Stromerzeugungskosten, die Stromfortleitungskosten und die sachlichen Zugförderungskosten.

Es erübrigt nun noch, sich ein Bild über die speziellen Personalkosten des Fahrbetriebes und des Verwaltungsbetriebes zu machen.

23. Wagenpersonal.

Als Grundlage hierfür ist die 10stündige Arbeitsschicht massgebend. In 10 Stunden fährt ein Wagen gemäss den vorstehenden Annahmen 100 *km*. Von 30 Tagen im Monat ist dem Personal gesetzlich 3 Tage Ruhe und 3 Tage Reserve- und Vertretungsdienst zu gewähren, so dass 24 Tage für wirklichen Dienst zu rechnen sind, was einer Jahresleistung von $24 \cdot 12 \cdot 100 = 28\,800$ Wagenkilometern entspricht.

Besteht das Personal nur aus einem Wagenführer, so betragen die Personalkosten im ganzen Jahre:

1. Lohn z. B. 12 × 90	1080,00 ℳ
2. Beitrag zur Krankenkasse 1 %	10,80 »
3. Beitrag zur Invaliditäts- und Altersversicherung 15 ₰ für die Woche	7,80 »

4. Kleidergeld	50,00 ℳ
5. Wohlerhaltungsprämie z. B. 5 ℳ für den Monat bei zehnmaliger Auszahlung . . .	50,00 »
6. Kilometergelder $^1/_4$ ₰ für 1 *km*	72,00 »
Sa.:	1270,60 ℳ

Mithin Führerkosten für das Motor-Wagenkilometer

$$\frac{127060}{28800} = 4{,}4 \text{ ₰}.$$

Wird das Wagenpersonal aus Führer und Schaffner gebildet, so erhöhen sich die Personalkosten um den Schaffnerbetrag, welcher analog obiger Zusammenstellung beträgt:

1. Lohn, z. B. 12 × 80	960,00 ℳ
2. Beitrag zur Krankenkasse 1 %	9,60 »
3. Beitrag zur Invaliditäts- und Altersversicherung 15 ₰ für die Woche	7,80 »
4. Kleidergeld	50,00 »
5. Zählgeld für verkaufte Fahrscheine od. dergl. Vergütung	50,00 »
6. Kilometergelder $^1/_4$ ₰	72,00 »
Sa.:	1149,40 ℳ

Mithin Schaffnerkosten für das Wagenkilometer, gleichgiltig ob für Motor- oder Anhängewagen,

$$\frac{114950}{28800} = 4 \text{ ₰}.$$

24. Allgemeine Verwaltungskosten.

Dieselben sind die gleichen wie bei allen anderen ähnlichen Bahnanlagen und bedürfen an dieser Stelle keiner besonderen Begründung. In dem später nachfolgenden Betriebskostenschema sind dieselben der Vollständigkeit halber noch einzeln aufgeführt.

25. Erneuerungsfonds.

Zur Bildung der Erneuerungsfonds müssen von den Betriebseinnahmen im einzelnen zu bestimmende Summen jährlich zurückgelegt werden, damit der Betrieb nicht durch solche Ausgaben belastet wird, die sich in grösseren Summen plötzlich als notwendig erweisen. Es ist hierbei erforderlich, dass jeder Teil der Anlage, welcher mit der Zeit durch neue Apparate oder Materialien ersetzt bezw. erneuert werden muss, durch eine zurückgelegte Summe gedeckt ist, wenn die Beschaffung erforderlich wird. Den richtigen Satz hierfür zu finden, ist natürlich eine äusserst schwierige Aufgabe und würde eine begründete Detaillierung des Erneuerungsfonds nicht mehr in den Rahmen dieses Werkes fallen.

Der Grundsatz, nach welchem hier verfahren werden muss, soll an einigen kurzen Beispielen erläutert werden.

Die Lebensdauer der Dampfkessel ist aus anderen Betrieben bekannt. Von Grosswasserraumkesseln wird behauptet, dass dieselben bei guter Instandhaltung 20 Jahre halten, ohne ersetzt werden zu müssen. Rechnen wir also mit diesen 20 Jahren, so ist der Anschaffungspreis in 20 Jahren wieder anzusammeln und zwar jährlich mit einem Betrage, der nach der sogenannten Erneuerungsformel als jährliche Quote auf Zinseszins zurückzulegen ist. Nachstehende Erneuerungsfondstabelle gründet sich auf der Formel:

$$x = \frac{K(y-1)}{y^z - 1},$$

worin bedeutet:

x = jährliche Rücklage
K = Anfangskapital
z = Anzahl der Jahre
$p\,\%$ = Zinsfuss
$y = 1 + \frac{p}{100}$.

In unserem Falle sind 3,024 % des Anlagekapitals zur Rücklage erforderlich, wenn man 5 % Zinsen annimmt.

Von Dampfmaschinen kann man annehmen, dass dieselben nach 20 Jahren sicher verbraucht sind, und wenn sie es noch nicht sind, so ist deren Ersetzung durch besser konstruierte, zeitgemässere Maschinen ein Bedürfnis für den Betrieb.

Auch hier würden mit dem obigen Prozentsatz Rücklagen zu erfolgen haben.

Dynamomaschinen, Apparate, blanke Kupferleitungen und Kabelleitungen, Motoren, Räder, Achsen und Bandagen, Stromleitungstragwerk und schliesslich Gleise und Bauten sind mit entsprechenden Rücklagen zu bewerten, so dass die Summe der Rücklagen und die Summe sämtlicher Buchwerte den ursprünglichen Wert der Anlage jederzeit darstellen.

Zwischen dem Stadium dieser Gesamterneuerung und dem Stadium der Betriebserhaltung liegt noch eine Teilerneuerung, welche zu bewerten ebenso schwierig ist, wie die Gesamterneuerung. Es ist z. B. bei Wasserröhrenkesseln erforderlich, hin und wieder einige der am stärksten beanspruchten Wasserrohre auszuwechseln, was sicherlich den Rahmen der laufenden Betriebsreparaturen übersteigen wird. Um auch mit diesen Ausgaben den Betrieb nicht zu belasten, ist es gut, wenn noch ein Nebenerneuerungsfond für grössere Teile der Kessel, Maschinen, Apparate u. s. w. eingerichtet wird. Unter solcher Voraussicht wird ein geordneter Betrieb allen plötzlichen

Tabelle für Erneuerungsfonds (Rücklagen).

Nach Jahren		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Bei einem Zinsfuss von	4 %	100,00	49,032	32,026	23,545	18,459	15,077	12,666	10,855	9,4518	8,331	7,417	6,657	6,016
	5 %	100,00	48,781	31,726	23,202	18,090	14,701	12,282	10,471	9,068	7,950	7,038	6,282	5,645
Nach Jahren		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Bei einem Zinsfuss von	4 %	5,468	4,984	4,583	4,241	3,901	3,623	3,359	3,129	2,921	2,735	2,570	2,402	2,257
	5 %	5,102	4,677	4,227	4,870	3,554	3,274	3,024	2,799	2,597	2,414	2,247	2,130	1,956
Nach Jahren		27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Bei einem Zinsfuss von	4 %	2,125	2,012	1,889	1,784	1,682	1,595	1,511	1,432	1,358	1,289	1,224	1,164	1,107
	5 %	1,829	1,712	1,605	1,505	1,412	1,328	1,249	1,176	1,107	1,043	0,984	0,928	0,876
Nach Jahren		40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50		
Bei einem Zinsfuss von	4 %	1,053	1,002	0,954	0,909	0,867	0,827	0,789	0,753	0,718	0,686	0,655		
	5 %	0,828	0,783	0,740	0,699	0,662	0,626	0,591	0,561	0,546	0,504	0,478		

Amortisations-Tabelle.

Nach Jahren	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
3 %	103,00	52,261	35,353	26,903	21,835	18,460	16,051	14,246	12,843	11,723	10,808	10,040	9,403	8,853	8,377	7,961	7,595
3½ %	103,50	52,640	35,693	27,225	22,148	18,767	16,354	14,548	13,145	12,024	11,109	10,348	9,706	9,157	8,683	8,268	7,904
4 %	104,00	53,020	36,035	27,549	22,463	19,076	16,661	14,853	13,449	12,328	11,415	10,655	10,014	9,467	8,994	8,582	8,220
4½ %	104,50	53,400	36,377	27,874	22,779	19,388	16,970	15,164	13,757	12,638	11,725	10,967	10,328	9,782	9,311	8,902	8,542
5 %	105,00	53,780	36,721	28,201	23,097	19,702	17,282	15,472	14,069	12,950	12,039	11,283	10,646	10,102	9,634	9,227	8,870
6 %	106,00	54,544	37,411	28,859	23,740	20,336	17,914	16,104	14,702	13,587	12,679	11,928	11,296	10,758	10,296	9,895	9,544
7 %	107,00	55,309	38,105	29,523	24,389	20,980	18,555	16,747	15,349	14,238	13,336	12,590	11,965	11,434	10,979	10,586	10,243

Nach Jahren	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
3 %	7,271	6,981	6,722	6,486	6,274	6,083	5,904	5,743	5,593	5,456	5,369	5,213	5,101	5,000	4,904	4,818	4,736
3½ %	7,582	7,294	7,036	6,802	6,578	6,388	6,227	6,068	5,921	5,786	5,661	5,545	5,483	5,337	5,244	5,158	5,077
4 %	7,899	7,614	7,358	7,128	6,921	6,732	6,559	6,403	6,257	6,124	6,002	5,888	5,784	5,686	5,595	5,511	5,432
4½ %	8,224	7,941	7,688														
5 %	8,555	8,274	8,024	7,800	7,597	7,414	7,247	7,095	6,956	6,845	6,759	6,605	6,505	6,413	6,328	6,259	6,175
6 %	9,236	8,961	8,718														
7 %	9,941	9,675	9,439														

Nach Jahren	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
3 %	4,653	4,580	4,510	4,446	4,384	4,328	4,271	4,219	4,169	4,113	4,078	4,039	3,996	3,958	3,922	3,886
3½ %	5,000	4,929	4,861	4,798	4,739	4,683	4,603	4,580	4,533	4,488	4,945	4,405	4,367	4,331	4,296	4,263
4 %	5,358	5,289	5,224	5,152	5,106	5,053	5,002	4,955	4,909	4,867	4,827	4,788	4,752	4,718	4,685	4,549
5 %	6,107	5,795	5,984	5,928	5,877	5,829	5,783	5,740	5,719	5,662	5,627	5,593	5,561	5,532	5,504	5,478

Beanspruchungen gewachsen sein und einen regelmässigen und sicheren Überschuss des Unternehmens gewährleisten, vorausgesetzt, dass die Anlage von vornherein lebensfähig war.

Unter gewöhnlichen Verhältnissen beansprucht eine elektrisch betriebene Strassenbahn eine jährliche Rücklage von 0,5—0,6 ₰ für das geleistete Tonnenkilometer.

26. Zinsen und Amortisation des Anlagekapitals.

Die vorstehenden Kosten betreffen die reinen Betriebsausgaben.

Um nun die Rentabilität der Anlage zu ersehen, ist der Überschuss noch um die Steuern und die eventuell geforderten Abgaben zu kürzen. Der dann verbleibende Rest ergiebt die Verzinsung und Amortisation nach Tabelle auf Seite 339, bei der Zinsen und Amortisationsquoten mit Zinseszins verrechnet sind. Die vorstehende Amortisationstabelle gründet sich auf folgender Formel:

$$x = \frac{K y^{\varkappa} (y - 1)}{y^{\varkappa} - 1},$$

worin x, K, $\varkappa$, y wieder die gleiche Bedeutung wie in der Erneuerungsformel besitzen.

Die erste Horizontalreihe giebt den Zeitraum in Jahren an, nach dessen Ablauf ein Kapital von 100 ℳ amortisiert und verzinst sein soll. Die übrigen Horizontalreihen bedeuten die jährlichen Amortisationsquoten, d. h. die Summen, welche so und so viel Jahre lang am Ende jedes Jahres abgeschrieben werden müssen, damit nach ebenso viel Jahren die Amortisation von 100 ℳ beendet ist. Die erste Vertikalreihe giebt den Zinsfuss an, der für die Verzinsung des Kapitals vorausgesetzt wird.

Eine schematische Zusammenstellung der vorstehend im einzelnen begründeten Ausgaben wird in Nachfolgendem als Anhaltspunkt für Aufstellung von Betriebskosten neuer Anlagen gegeben. Die angegebenen Einzelpreise sind Mittelwerte aus längeren Betriebszeiten, die jedoch nicht überall gleich sein können, sondern von Fall zu Fall verändert werden müssen.

Das allgemein übliche Normalbuchungsformular der Eisenbahnen Deutschlands eignet sich nicht für eine derartige kurze Übersicht, wogegen sich das nachfolgende Schema zur Aufstellung der Betriebskosten einer elektrisch betriebenen Strassenbahn allgemein eingeführt hat.

I. General-Unkosten.

A. Gehälter und Löhne

a) des technischen Betriebsleiters
b) des kaufmännischen Betriebsleiters
c) des Betriebs-Ingenieurs
d) des Betriebs-Inspektors
e) des Verkehrs-Inspektors
f) des Kassierers
g) des Rechnungsprüfers
h) der Kontrolleure
i) der Bureaubeamten
k) des Materialverwalters
l) des Bahnmeisters
m) des Wagenmeisters
n) des Maschinenmeisters
o) des Werkmeisters
p) der Bureaudiener
q) des Nachtwächters.

B. Gesetzliche Abgaben für vorstehende Beamte.

C. Sachliche Ausgaben und Abgaben

a) Kosten der Bureaumaterialien
b) Portis
c) Mieten
d) Gewerbesteuern und Grundsteuern
e) Versicherungsbeiträge
f) Druckkosten
g) Stempel
h) Gerichtskosten
i) Uniformen für e, h, l, m unter A.

D. Materialkosten für

a) Heizung
b) Reinigung
c) Beleuchtung
} der Bureaux.

II. Herstellung der Triebkraft in der Kraftstation.

A. Löhne

a) des Obermaschinisten
b) der Maschinisten (40 ₰ St.)
c) der Hilfsmaschinisten (35 ₰ St.)
d) der Betriebshandwerker (40 ₰ St.)
e) der Heizer (32 ₰ St.)
f) der Hilfsheizer (30 ₰ St.)
g) der sonstigen Arbeiter, Putzer, Schmierer und Kohlenfahrer (26 ₰ St.).

B. Gesetzliche Abgaben für vorstehende Beamte (ca. 3 % der Löhne).

C. Betriebsmaterialien-Verbrauch

a) Kohle
b) Holz
c) Wasser
d) Öl und Schmiermaterial
e) Verpackungsmaterial
f) Bürsten für Dynamos
g) Putzmaterial.

D. Reparaturmaterialien-Verbrauch für

a) die Pumpen
b) die Dampf- und Wasserleitungen
c) die Kessel (Kesselreinigung 150—200 ℳ für einen Kessel)
d) die Dampfmaschinen
e) die Stromerzeuger
f) das Schaltbrett
g) die Apparate
h) die Leitungen.

E. Beleuchtung und Reinigung der Kraftstation.

F. Nachschaffung und Instandhaltung der Werkzeuge.

III. Zugkosten.

A. Löhne, Kilometer-Gelder, Wohlerhaltungsprämien u. s. w.

a) der Wagenführer
b) der Schaffner
c) der Wagenwäscher
d) der Wagenreparaturschlosser
e) der Werkstattarbeiter.

B. Gesetzliche Abgaben für vorstehende Beamte (ca. 3 % der Löhne).

C. Sachliche Ausgaben

a) Uniformen für die Führer
b) Uniformen für die Schaffner
c) Beleuchtung
d) Heizung der Werkstätten.

D. Betriebsmaterialien-Verbrauch an

a) Öl und Schmiermaterial
b) Motoren-Bürsten
c) Bremsklötzen
d) Desinfektionsmaterial
e) Wagenheizung (3—5 ₰ St. bei Brikettheizung)
f) Beleuchtung und Notbeleuchtung
g) Reinigungsmaterial.

E. Reparaturmaterialien-Verbrauch für

1. die Motorwagen-Untergestelle
   a) Achsen
   b) Räder
   c) Bandagen (1 Radsatz abdrehen 3—5 ℳ in eigener Werkstatt)
   d) Federn
   e) Bremsen
   f) Lager,
2. die Motoren
   a) Anker
   b) Magnete
   c) Kommutatoren
   d) Bürstenhalter
   e) Lager
   f) Schutzkästen,
3. die Übertragungen
   a) Zahnräder, Ketten, Schnecken u. s. w.
   b) Schutzkästen,

4. die Apparate und Leitungen
   a) Umschalter
   b) Ausschalter
   c) Bleisicherung
   d) Blitzableiter
   e) Lampen
   f) Kabel
   g) elektrische Klingel und Signalglocken,
5. den Wagenkontakt
   a) Kontaktstange
   b) Kontaktrolle oder -Bügel (0,1 ₰ — 0,05 ₰ für d. *km*)
   c) Federbock,
6. den Wagenkasten
   a) Glasscheiben
   b) Perron- und Wagenthüren
   c) Laufroste und Fussbodenklappen
   d) Sitzbänke und Polster
   e) Wagendach,
7. die Anhängewagen (150 ℳ für 1 Jahr)
8. den Anstrich und die Lackierung sämtlicher Wagen
9. die Bahnmeister- und Salzwagen
10. die Arbeitsmaschinen in der Werkstatt.

F. Nachschaffung und Instandhaltung der Werkzeuge.

IV. Unterhaltung der Stromzuführungs-Anlagen
(0,5 ₰ *Wgkm*).

A. Löhne
   a) Leitungsrevisoren
   b) Arbeiter.

B. Gesetzliche Abgaben für vorstehendes Personal.

C. Sachliche Ausgaben
   Uniformen für die Leitungsrevisoren.

D. Reparaturmaterialien-Verbrauch für
   a) den Fahrdraht
   b) die Isolatoren
   c) das Tragwerk
   d) die Masten und Ausleger
   e) die Rosetten
   f) die Schienen-Rückleitung
   g) die Speiseleitungen
   h) die Telephon- und Prüfleitungen
   i) die Leiter- und Montagewagen
   k) den Schlitzkanal.

E. Nachschaffung und Instandhaltung der Werkzeuge.

V. Unterhaltung und Reinigung der Gleise
(100 ℳ *km* im Jahr).

A. Löhne
   a) Vorarbeiter
   b) Streckenarbeiter
   c) Streckenwärter.

B. Gesetzliche Abgaben für vorstehendes Personal.

C. Sachliche Ausgaben

Uniformen für Vor-Streckenarbeiter und für die Streckenwärter.

D. Reparaturmaterialien-Verbrauch für

a) die Gleise
b) die Arbeitsgruben
c) die Schiebebühnen
d) die Drehscheiben
e) den Bahnkörper
f) das Pflaster.

E. Materialien-Verbrauch für

a) Reinigung der Gleise
b) Schneeabfuhr
c) Salzstreuung.

F. Nachschaffung und Instandhaltung der Werkzeuge.

VI. Unterhaltung der Gebäude.

Reparaturen an den Gebäuden.

VII. Entschädigungen für Unfälle.

a) Entschädigung auf Grund der Haftpflicht
b) Zahlungen auf Grund der Unfall-Versicherungen
c) Unterstützung an Hinterbliebene
d) Kosten für ärztliche Untersuchungen und Behandlungen
e) Kosten für Arzneien.

VIII. Rücklagen in die Erneuerungsfonds

a) für Pumpen
b) für Dampfkessel
c) für Dampf- und Wasserleitungen
d) für Dampfmaschinen
e) für Stromerzeuger
f) für Übertragungsmechanismus
g) für Apparate und Leitungen in der Kraftstation
h) für elektrische Streckenausrüstung (1,2 ₰ *Wgkm.*)

  α) für Maste
  β) für Tragwerk
  γ) für Fahrdraht
  δ) für Speiseleitungen

i) für Wagen-Untergestelle
k) für Wagenkästen
l) für elektrische u. motorische Einrichtung der Wagen

} 1,8 ₰ *Wgkm* (für i–l)

m) für Gebäude
n) für Gleise.

IX. Abgaben und Steuern.

Eine in der E T Z erschienene Statistik der Stadtbahn Halle und der elektrischen Strassenbahn Lübeck sei hier beigefügt, um an praktischen Zahlen entsprechende Vergleiche anstellen zu können.

	Halle	Lübeck
	für das Wagenkilometer	
	₰	₰
1. Betriebseinnahmen:		
a) Fahrgelder	24,40	20,78
b) Diverse Einnahmen	0,08	0,28 (b und c)
c) Zinsen	0,34	
	24,82	21.06
2. Betriebsausgaben:		
a) Allgemeine Verwaltung (Gehälter für die Verwaltung, Geschäftsunkosten, Annoncen, Steuern und Abgaben, Versicherungen und sonstige unvorhergesehene Ausgaben)	3,01	1,07
b) Fahrdienst (Löhne im Wagenbegleitdienst, Wagenunterhaltung, Unterhaltung der Werkstatt, Schmier- und Putzmaterial, Beleuchtung und Verbrauch an Kohlenbürsten)	6,44	6,34
c) Stationsdienst (Besoldungen, Immobilien-Unterhaltung, Kessel- und Maschinenunterhaltung, Kohlen und Wasser, Putz- u. Schmiermaterial, Schlackenabfuhr, Verbrauch an Kohlenbürsten)	3,99	3,84
d) Streckendienst und Unterhaltung der Stromzuführung (Besoldungen, Unterhaltung der Gleise und der Stromzuführung)	1,05	0,86
	14,49	12,11
e) Erneuerungsfonds (Aufwendung für Wagen, Station, Bahnkörper, Stromzuführung, Zuführung zum Erneuerungsfond und Amortisation)	4,3	2,74
	18,52	14,85

Die Angaben von Lübeck beziehen sich auf das Betriebsjahr 1894/95, diejenigen von Halle dagegen sind Durchschnittswerte aus den Jahren 1891/92, 92/93, 93/94 und 94/95.

	Halle	Lübeck
3. Betriebslänge in *km*	12,56	13,87
Zahl der täglich verkehrenden Motorwagen	28	20
Geleistete Motorwagenkilometer im Jahr	1137295	919560,48
Zahl der Anhängewagenkilometer	19217,44	20474,63
Gesamt-Anlagekapital ℳ	1300000	1294314

Aus englischen Verhältnissen heraus berechnet Raworth für Bahnbetriebe den Verkaufspreis der *kw/St.* zu 8,33 ₰. Als Beispiel nimmt er eine Station, welche 1000000 *kw/St.* im Jahre erzeugt. Für die Erzeugungskosten (Kohlen, Löhne, Öl u. s. w.) berechnet er 2,59 ₰ für die *kw/St.*, für Miete, Steuern, Reparatur und Abschreibung 2,20 ₰ und für Gehälter und Bureauunkosten 0,8 ₰. Dieses macht zusammen 5,59 ₰ und es bleiben 2,74 ₰ als Reingewinn übrig. Das Kapital wurde zu 340000 ℳ angenommen, sodass der Gewinn 27400 ℳ oder 8% beträgt. Weitere Statistik ergiebt die folgende Tabelle:

	Liverpool Overhead Railway		Metropolitan Railroad of Washington	Manchester Centrale (für Beleuchtung)
	Januar bis Juni 1896	Juli bis Dezember 1896	Sept. 1896 bis Februar 1897	April 1895 bis März 1896
Zugkilometer	503 600	516 500	—	—
Erzeugte *kw/St.*	1 343 129	1 377 060	2 835 520	1 926 900
	Pfennige für die erzeugte *kw/St.*			
Kohle	0,98	1,01	1,88	3,17
Öl u. s. w.	0,32	0,52	0,39	1,15
Löhne und Gehälter . .	3,83	3,82	1,65	3,48
Reparatur u. Erneuerung	1,45	1,79	—	1,10
Summe	6,58	7,14	—	8,90

Da Strassenbahnen öfters in der Lage sind, Strom aus vorhandenen Stromerzeugerstationen zu entnehmen oder entnehmen zu müssen, bietet diese Zusammenstellung gegenüber den bei uns üblichen Tarifen von 9 bis 10 ₰ für die *kw/St.* geeignete Vergleichsobjekte.

29. Technische Betriebsüberwachung.

Mehr als bei jedem anderen technischen Betriebe ist es hier erforderlich, dass sämtliche Anlagen bis in die kleinste Einzelheit überwacht und studiert werden. Da es aber nicht möglich ist, dass der Ingenieur bei allen Vorkommnissen einer Bahn selbst zugegen ist, so muss er sich wohl oder übel darauf beschränken, die Ansicht und Absicht der Untergebenen in statistischem Material aus schematischen Angaben zu sammeln und dann daraus seine konstruktiven oder administrativen Folgerungen ziehen.

Die nachstehenden Schemata geben erprobte Modelle aus der Praxis wieder und erfüllen den geforderten Zweck mit gewünschter Genauigkeit. Der Betriebsführer hat nur darauf zu sehen, dass die vorgedruckten Rubriken auch wirklich gewissenhaft ausgefüllt werden.

Schema I ist für den Obermaschinisten bezw. den Aufsicht führenden Maschinisten bestimmt und führt die Kontrolle über das Maschinen- und Kesselhaus.

Schema II ist für den Werkmeister bestimmt und führt die Kontrolle über die Werkstattsarbeiten und über das Betriebsmittelregister.

Schema I. .... Bahn.

Tages-Bericht der Kraftstation für den 189 .

Maschine und Dynamo Nr.	Stunde des Inbetriebsetzens	Stunde des Ausserbetriebsetzens	Maschinen-Stunden	Kessel Nr.	Stunde des Inbetriebsetzens	Stunde des Ausserbetriebsetzens	Kessel-Stunden	Bemerkungen
								Angaben des K. W.-Zählers
		Zusammen				Zusammen		

Verbrauch

Holz	....
Kohlen	....
Wasser	....
Cylinderöl	....
Maschinenöl	....
Consistentes Fett	....
Schwarze Putzbaumwolle	....
Weisse Putzbaumwolle	....
Soda	....
Kalk	....
Dynamo-Bürsten	....
Petroleum	....
Glaspapier	....
Schmirgelpapier	....
Lampen	....
Verschiedenes	....

Verbrauch

Maschinenöl	....
Consistentes Fett	....
Fett für Zahnräder	....
Schwarze Putzbaumwolle	....
Weisse Putzbaumwolle	....
Petroleum	....
Motor-Bürsten	....
Bremsklötze	....
Lampen (Wagen Nr.)	....
Verschiedenes	....

Versuche

Isolierung der Linie

Witterung

Schema III.

.... Strassenbahn.

Bericht für den Monat .... 189 .....

Geleistete Kilometerzahl.

Linien	Motorwagen		Beiwagen	
	Jahr 189 .	Jahr 189 .	Jahr 189 .	Jahr 189 .
Zusammen				

Kohlen-Verbrauch.

Im Ganzen		Für das Wagenkilom.	
Jahr 189 .	Jahr 189 .	Jahr 189 .	Jahr 189 .
Bezugsquelle	Bezugsquelle		

Schema III. Fortsetzung.

Folgende Arbeiten sind ausgeführt worden:

A. An der Krafterzeugungs-Anlage.

Reparaturen	Erneuerungen	Erste Anlage

B. An dem rollenden Material.

Reparaturen	Erneuerungen	Erste Anlage

C. An der Leitung und Rückleitung.

Reparaturen	Erneuerungen	Erste Anlage

D. An der Werkstätte, den Remisen und dem Magazin.

Reparaturen	Erneuerungen	Erste Anlage

Personal.

Eingetreten	Ausgetreten

Schema IV.

Linie von ....

Länge .... **Wagen Nr.** .... } A. Motor Nr. .... Armatur Nr. ....

Fahrzettel für den .... } B. Motor Nr. .... Armatur Nr. ....

Hinfahrt.

Nr. der Fahrt	Ab-fahrts-zeit	An-kunfts-zeit	Die Fahrt ist gemacht worden		Bemerkungen über Verspätungen und Betriebs-Unfälle
			ohne Bei-wagen	mit Bei-wagen Nr.	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
Gesamt-Anzahl der Motorwagen-Fahrten					
Gesamt-Anzahl der Beiwagen-Fahrten					

Rückfahrt.

Nr. der Fahrt	Ab-fahrts-zeit	An-kunfts-zeit	Die Fahrt ist gemacht worden		Bemerkungen über Verspätungen und Betriebs-Unfälle
			ohne Bei-wagen	mit Bei-wagen Nr.	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
Gesamt-Anzahl der Motorwagen-Fahrten					
Gesamt-Anzahl der Beiwagen-Fahrten					

Wagenführer .... **von** .... **bis** ....

Schaffner .... **von** .... **bis** ....

Gesamtzahl der Hin- und Rückfahrten		Zusammen Kilometer
....	Motorwagen	....
....	Beiwagen	....
	Zusammen	....

Schema V.

Unfälle oder Beschädigungen.

Name des Führers, mit welchem der Unfall eingetreten ist ....

» des Schaffners, » » » » » » ....

Uhr { .... morgens / .... abends   Fahrt { Hin-, Nr. .... / Zurück-, Nr. ....

Ort (Strasse, Hausnummer u. s. w.) ....

Bezeichnung des Unfalls ....

....

....

Ursache ....

....

....

Zeugen (Namen und Adresse) ....

....

....

....

NB. Alle Unfälle oder Beschädigungen des Wagenkastens, z. B. zerbrochene Scheiben u. s. w., müssen ebenfalls in diesem Fahrzettel eingetragen werden.

Schema III ist für die Monatsstatistik bestimmt und ist vom Betriebsingenieur für die Jahresstatistik zusammenzustellen, nachdem der Maschinenmeister und der Werkmeister die einzelnen Rubriken ausgefüllt haben.

Schema IV giebt schliesslich einen Überblick über die Tagesleistung und ist von jedem Schaffner bezw. Wagenführer auszufüllen.

Schema V bildet die Rückseite des Fahrzettels (Schema IV) und schreibt dem Berichtenden die zu beantwortenden Fragen bei Unfällen und Beschädigungen vor.

30. Technische Betriebsvorschriften.

Dieselben sind für das Personal dadurch geboten, dass der elektrische Betrieb mit allen seinen Funktionen in ein Grosses und Ganzes eingreift und es erforderlich macht, dass jeder das Seinige zur Regelung und Ausgleichung beiträgt.

Um auch hierin einige praktische Winke zu geben, wählen wir einige Vorschriften bewährter Anlagen als Anhaltspunkte zur Aufstellung von Dienstvorschriften, wobei zu bemerken ist, dass solche Bestimmungen ausser Acht gelassen wurden, welche nicht speziell den elektrischen Teil betreffen.

Dienstvorschriften für den Betrieb der Kraftstation.

Die allgemeinen Verhaltungsmassregeln über die Vorschriften bei Bedienung und Wartung der Dampfkessel, Dampfmaschinen, Pumpen, Kondensationsanlagen, Rohrleitungen und so weiter können hier fortbleiben, weil solche Angaben sich in allen anderen technischen Betrieben in vollendeter Form vorfinden. Über die Bedienung und Wartung der Dynamos, der Schaltbretter und der Motoren ist das Folgende zu nennen:

1. Es ist dafür Sorge zu tragen, dass bei Riemenantrieb die Riemen stets die richtige Spannung haben und beim Nachspannen ihren Lauf in der Mitte der Riemenscheibe behalten.

2. Das in den Lagern der Dynamos und Elektromotoren befindliche Öl ist etwa alle 12 bis 14 Tage zu erneuern. Während des Laufens der Maschinen muss der Wärter sich ab und zu davon überzeugen, dass die Schmierringe der zumeist in Anwendung gebrachten Ringschmiervorrichtung, wie dieselbe die Fig. 355 zeigt, sich mit der Welle drehen und nicht festgelaufen sind, weil die Folge ein baldiges Warmlaufen der Welle sein würde.

3. Der Stromwender (Kommutator) bei Gleichstromerzeugern ist während des Betriebes von Zeit zu Zeit etwas einzuölen. Nach Beendigung des Betriebes ist derselbe mit einem in Petroleum ge-

tränkten Lappen abzureiben und alsdann trocken abzuwischen. Schmirgeln des Stromwenders ist zu verbieten.

4. Die Kohlenbürsten sind so einzustellen, dass dieselben ganz gleichmässig auf dem Umfang des Stromwenders verteilt sind, also genau gleichen Abstand von einander haben. In der Längsrichtung des Stromwenders sind dieselben dagegen so zu verteilen, dass die ganze Cylinderfläche zur Wirkung bezw. Abnutzung kommt. Es ist dafür Sorge zu tragen, dass die Bürstenhalter selbst niemals mit dem Stromwender in direkte Berührung kommen. Auch darf kein



Fig. 355.

Teil der Bürstenhalter über das Ende der Bürstenhalterbolzen hervorstehen, damit jede Berührung der Bürstenhalter mit dem rotierenden Anker ausgeschlossen ist.

5. Soll eine Nebenschluss-Dynamomaschine zur Stromabgabe auf das Leitungsnetz geschaltet werden, so ist zunächst das Maschinenvoltmeter auf die betreffende Maschine einzustellen. Alsdann ist die Kurbel des Nebenschlussregulators ganz allmählich aus der Nullstellung herauszudrehen und dadurch der Regulierwiderstand nach und nach so weit auszuschalten, bis die erforderliche Betriebsspannung erreicht ist. Nunmehr wird der Schalthebel mit der Hand

eingelegt. Demnächst wird auf dieselbe Weise der Schalthebel derjenigen Streckenleitung eingelegt, welche in Betrieb genommen werden soll.

6. Wenn eine zweite Dynamomaschine zu der bereits auf das Netz arbeitenden zugeschaltet werden soll, so ist dieselbe zunächst in der vorstehend beschriebenen Weise auf Spannung zu bringen und, wenn diese Spannung die Netzspannung um einige Volt übersteigt, der Maschinenschalthebel der neuen Maschine auf das Netz zu schalten. Auf keinen Fall darf der Hebel früher auf das Netz geschaltet werden, als bis die Netzspannung erreicht ist.

Ist die zweite Maschine auf das Netz geschaltet, so sind beide Maschinen mittels des Nebenschlussregulators auf gleiche Belastung zu bringen.

7. Soll eine Maschine aus dem Netz ausgeschaltet werden, so bringt man die Belastung der auszuschaltenden Maschine durch Vergrösserung des Regulierwiderstandes zunächst auf die Belastung der noch ins Netz arbeitenden Maschine, indem man die Regulierwiderstände der letzteren nötigenfalls vermindert. In dem Augenblick, in welchem das Ampèremeter der auszuschaltenden Maschine infolge der angegebenen Ausnutzung der Regulierwiderstände auf Null steht, ist der betreffende Maschinenschalthebel rasch aus dem Netz herauszunehmen und der Regulierwiderstand durch Drehen der Kurbel auf die Nulllage ganz einzuschalten, wodurch die Maschine stromlos wird.

8. Beim Ein- und Ausschalten von Dynamomaschinen ist darauf zu achten, dass die Netzspannung möglichst normal bleibt.

9. Das Einschalten von Werkstatts-Elektromotoren geschieht am zweckmässigsten in der Weise, dass man die Kurbel des Anlasswiderstandes recht langsam, am besten ruckweise, von Kontakt zu Kontakt aus der Nulllage zu dem mit »eingeschaltet« oder »normal« bezeichneten Kontakt hinbewegt. Das Ausschalten kann rascher erfolgen; der sich dabei bildende Lichtbogen ist sofort auszublasen.

10. Eine etwa eintretende Umpolarisierung einer Dynamomaschine, welche durch die Stromrichtungszeiger angezeigt wird, lässt sich dadurch wieder aufheben, dass man durch die Spulen dieser Dynamo Strom von einer anderen Dynamo mit richtigem Stromlauf hindurchschickt. Hierzu werden die Bürsten der umpolarisierten Maschine aus dem Bürstenhalter herausgenommen, so dass zwischen Kollektor und Schaltbrett keine Verbindung mehr besteht. Alsdann wird der Schalthebel dieser Maschine auf das Netz oder auf eine andere Dynamo mit richtigem Stromlauf geschaltet und der Regulierwiderstand ganz ausgeschaltet. Darauf lässt man den ungeschwächten Strom ca. $^1/_2$ bis 1 Minute durch die

Magnetspulen hindurchlaufen. Ist dies geschehen, so wird der Regulierwiderstand wieder ganz eingeschaltet, d. h. auf Null gestellt, der Schalthebel wird aus dem Netz genommen, die Bürsten werden wieder eingesetzt und man probiert, ob die Dynamo wieder richtigen Stromlauf hat.

Dienstvorschriften für die Wagenführer müssen ausser den allgemeinen Vorschriften, welche auch bei anderen Bahnbetrieben gang und gäbe sind und daher an dieser Stelle keiner Erwähnung bedürfen, besondere Vorschriften über die Behandlung des Motorwagens und über die Ausübung des Fahrdienstes enthalten. Auch hier folgen wir einigen bewährten, sehr eingehenden Angaben aus der Praxis.

Behandlung des Motorwagens.

a) Übernahme des Wagens.

Bei Übernahme eines Wagens muss der Führer eine sorgfältige Revision desselben vornehmen und etwa vorgefundene Mängel entweder selbst abstellen oder beseitigen lassen. Ist der Wagen neu oder hat derselbe lange mit von der Arbeitsleitung abgezogener Rolle oder Bügel gestanden, so soll der Führer, während der Wagen steht, d. h. während das elektrische Triebwerk ausgeschaltet ist, die Rolle nicht direkt unter die Arbeitsleitung legen, sondern sie zuerst nur seitlich gegen die Leitung drücken und dabei beobachten, ob Funken entstehen. Zeigen sich Funken, so ist dieses ein Zeichen, dass ein schädlicher Kurzschluss oder Nebenschluss vorhanden ist, ein Fehler, dem nach Anleitung unter 8. abzuhelfen ist.

Nach erfolgter anstandsloser Übernahme trägt der Führer die Verantwortung für den betriebssicheren und betriebsfähigen Zustand des Wagens.

b) Instandhaltung des Wagens.

Die sachgemässe und sorgsame Bedienung, Behandlung und Unterhaltung des ihm anvertrauten Wagens, die Schonung der Inventarien ist Pflicht und Ehrensache des Wagenführes.

Die von dem Wagenführer mit Hilfe des ihm etwa zugeteilten Personals auszuführenden Unterhaltungsarbeiten sind im wesentlichen folgende:

> Instandhalten der Öl- und Schmiergefässe, Nachstellen von Schrauben, Muttern und Keilen, Putzen und Instandhalten der Laternen und Signalvorrichtungen, Einstellen und Auswechseln der Kommutatorbürsten, Auswechseln der Wagenkontakte, Ölen der Lager, Revision der von der Rolle den Strom abhebenden Seitenfedern, bezw. Revision der Bügelkontaktflächen.

Diese Arbeiten sind stets erst dann vorzunehmen, wenn der Wagenkontakt von der Fahrleitung abgezogen, d. h. der Wagen aus dem elektrischen Stromkreis ausgeschaltet ist. Ohne diese Vorsicht dürfen beispielsweise niemals die Umschaltevorrichtungen mit der Ölkanne berührt, die Schrauben derselben nachgestellt oder sonstige Häntierungen vorgenommen werden, selbst wenn der Wagenführer sicher zu sein glaubt, dass er nur mit isolierten Teilen in Berührung kommt.

Reparaturen, welche durch Handwerker der Werkstatt an dem ihm zugeteilten Wagen ausgeführt werden, muss der Wagenführer auf Verlangen der Verwaltung mit überwachen und dabei hilfreiche Hand leisten.

c) Wagenbeschädigungen und deren Meldung.

Ein erfahrener Wagenführer erkennt schon nach dem Gehör, ob eine Abweichung vom normalen Zustande bei seinem Wagen vorhanden ist. Jeder Wagenführer muss sich daher mit dem während der Fahrt auftretenden Geräusch seines Wagens genau vertraut machen. Auf jedes ungewohnte Geräusch muss er seine Aufmerksamkeit richten und dessen Ursache zu erforschen suchen.

Der Wagenführer hat ferner darauf zu achten, ob der Wagen für jede Kurbelstellung des Umschalters die der Stellung angemessene Geschwindigkeit annimmt. Abweichungen hat er zu untersuchen, vorgefundene Mängel mit aller Vorsicht bestmöglichst zu beseitigen.

Zeigt sich dieselbe Unregelmässigkeit sowohl bei Bedienung des einen wie auch des anderen Umschalters, so hat der Wagenführer erst den einen und dann den anderen Motor auszuschalten. Arbeitet der eine Motor nicht für alle Kurbelstellungen ordnungsmässig, so wird dieser endgültig ausgeschaltet und der Wagen mit dem einen unversehrt gebliebenen Motor nach der Station gefahren, um dort in Reparatur genommen zu werden.

Von jeder Beschädigung und irgend welcher Abweichung vom normalen Zustande des Wagens, deren Beseitigung ihm selbst nicht möglich ist, muss der Wagenführer thunlichst bald — spätestens bei Abgabe des Dienstes — seinem nächsten Vorgesetzten ausser dem Meldezettel noch mündliche Anzeige machen.

Ausübung des Fahrdienstes.

d) Dienstantritt.

Vor Antritt des Dienstes hat das Wagenführerpersonal sich zunächst über neuere Bestimmungen und Verfügungen bei dem nächsten Vorgesetzten zu erkundigen und die etwa ausgelegten Bekanntmachungen einzusehen.

Sodann hat der Führer seinen Wagen in allen wichtigen Teilen zu untersuchen, sich von deren Dienstfähigkeit zu überzeugen und dafür zu sorgen, dass alle Lager gehörig geölt sind.

e) Beaufsichtigung stehender Motorwagen.

Vom Antritt des Dienstes an bis zur Beendigung trägt der Wagenführer die Verantwortlichkeit für die ordnungsmässige Wartung und Beaufsichtigung aller maschinellen und elektrischen Teile des Wagens.

So lange der Wagen im Schuppen steht, soll der Wagenkontakt von der Fahrleitung heruntergezogen sein, ebenso soll die Kurbel jedes vorher auf die Marke »Halt« gestellten Umschalters abgenommen, unter Verschluss gebracht und die Bremse angezogen sein.

Der Führer und der ihm etwa zugeteilte Lehrling müssen für die Dauer ihres Dienstes auf bezw. bei dem Wagen bleiben. Niemals darf ein Wagen auf dem Gleis ausserhalb des Schuppens ohne Bewachung stehen. Muss der Führer auf einen Augenblick seine Stellung am Umschalter eines stehenden Wagens verlassen, so soll er vorher die Kurbel ab- und an sich nehmen.

Sind die Bremskurbeln der Wagen abnehmbar, so hat der Wagenführer die zur Bremse des Hinterperrons stets ab- und an sich zu nehmen, damit er stets über die Losstellung der Bremse unterrichtet bleibt.

f) Besteigen und Verlassen des Wagens.

Während der Wagen in Bewegung ist, darf der Führer weder den Wagen verlassen, noch besteigen. Der Wagen ist immer vorher zum Stillstand zu bringen und dann zu verfahren, wie unter e) angegeben.

g) Verhalten während der Fahrt.

Vor jeder Ingangsetzung des Wagens hat der Führer das vorgeschriebene Achtungssignal mit der Glocke zu geben. Beim Befahren der Gleise muss er aufmerksam beobachten, ob der Fahrt keine Hindernisse entgegenstehen, namentlich ob die etwa zu passierenden Weichen richtig gestellt und die zu befahrenden Gleise frei sind. Der Führer soll nicht über lose Drähte, Eisen- oder Holzstücke fahren, selbst wenn dabei keine Entgleisung zu befürchten steht, weil diese Gegenstände in das Triebwerk oder in die Polstücke gelangen können.

Während der Fahrt steht der Führer auf dem Vorderperron des Wagens, die linke Hand auf der Kurbel des Umschalters, die rechte Hand auf der Bremskurbel.

Die Umstellung des Kurbelzeigers von einer Kontaktmarke bis zur anderen soll stetig, aber nicht zögernd, vor sich gehen, so dass

der Wagen allmählich und nicht ruckweise die beabsichtigte Geschwindigkeit annimmt.

Soll der Strom abgestellt werden, so ist der Kurbelzeiger gleichmässig und schnell auf die Marke »Halt« (Nullpunkt) zu stellen.

Der Zweck dieser schnellen Bewegung kann dem Führer bei Probefahrten vom Vorgesetzten klar gemacht werden, indem der Mantel vom Umschalter abgelöst wird und dabei die Folgen einer langsamen und schnellen Drehung der Kurbel beobachtet werden. Bei langsamer Bewegung ist ein starkes Feuern bemerkbar, welches die Kontakte verbrennen kann. Der Lehrling hat zunächst das schnelle Ausschalten an einem auf der Station zur Übung aufgestellten Umschalter, bezw. an einem in Ruhe, also stromfrei stehenden Reservewagen zu erlernen, bevor er vom Wagenführer zur Bedienung des Umschalters an einem Wagen im Betriebe herangezogen werden darf. Namentlich ist darauf zu achten, dass bei der schnellen Bewegung der Zeiger nicht über die Marke »Halt« hinaus gedreht wird.

Das Anhalten auf starker Steigung und in Kurven ist zu vermeiden.

Wenn bei nassem Wetter, bezw. bei Glatteis die Räder gleiten, so ist der Sandstreuapparat zu benutzen, und wenn damit nicht der genügende Erfolg erzielt wird, ist die Schaltkurbel auf Null zurückzustellen und alsdann wieder langsam vorzudrehen, bis die Räder richtig vorwärts laufen.

Der Führer hat bei der Abfahrt und bei jedem Anfahren den Wagen vorsichtig und ohne Stoss in Bewegung zu setzen. Zu dem Zwecke darf der Führer den Strom nur so einschalten, dass der bezw. die Motoren nicht zu schnell angehen.

Bewegt sich die Kurbel schwer, so muss der Führer, sobald sich Gelegenheit dazu bietet, den Mantel des Umschalters entfernen, nach dem Fehler forschen und diesen beseitigen, wenn er dazu imstande ist (vergl. b). Das gewaltsame Zerren an der Kurbel, um den Widerstand zu besiegen, ist nur schädlich. In Gefällsstrecken, auf schlecht liegenden Gleisen, durch Weichen, Gleiskreuzungen, Kurven, durch Pfützen ist langsam zu fahren, so dass der Wagen rechtzeitig mittels der Bremse zum Halten gebracht werden kann. Auf starken, langen Gefällsstrecken sind die Motoren auszuschalten. Der Wagenkontakt muss aber dabei stets gegen die Fahrleitung liegen, so dass beim Versagen der Bremse im Notfall mittels des elektrischen Stromes das Anhalten bewirkt werden kann. Zum Zweck des richtigen Anhaltens hat der Führer zunächst die Motoren auszuschalten, sodann die Bremse anzuziehen und diese kurz vor dem völligen Stillstand des Wagens loszulassen, weil dann der Anker des Motors die Zahnräder so dreht, dass ohne Stoss wieder

angefahren werden kann. Im anderen Falle veranlasst der tote Gang im Getriebe schädliche Stösse beim Anfahren. Kreuzen zwei Motorwagen in einer Ausweichung, so sollen diese nicht gleichzeitig, sondern stets nach einander an- bezw. weiterfahren, weil beim Anfahren die vierfache Stromstärke am Wagen gebraucht wird. Bei schlechter Gleislage oder wenn in eine Kurve oder Weiche eingefahren wird, hat der Schaffner auf den Wagenkontakt Obacht zu geben. Ist der Wagen nur mit dem Führer besetzt, so hat dieser auf alle die Anzeichen zu achten, welche ein Abgleiten des Wagenkontaktes von dem Fahrdraht andeuten.

Wird die Fahrtrichtung gewechselt, so ist der Wagenkontakt für die andere Fahrtrichtung umzulegen. Es ist darauf zu achten, dass die Leine sich weder verwickelt, noch an einer anderen als der dafür bestimmten Stelle herabhängt.

Bei dieser Verrichtung, welche, wenn der Wagen von einem Schaffner begleitet wird, von letzterem ausgeführt wird, ist auch gleichzeitig der Kontakt nachzusehen. Der mittlere Teil desselben darf nicht zu sehr abgenutzt sein. Zeigt sich starker Verschleiss, so wechselt der Führer den Kontakt aus seinem Reservebestande sobald als angängig aus.

h) Verhalten bei Unregelmässigkeiten im Betriebe.

Gleitet die Kontaktrolle von dem Fahrdraht, so hat der Führer sofort den Kurbelzeiger des Umschalters auf »Halt« zu stellen und die Umschaltung nicht eher wieder zu bedienen, als bis sich die Kontaktrolle wieder ordnungsmässig an dem Fahrdraht abwälzt. Ist die Gefahr eines Zusammenstosses oder des Überfahrens von Menschen oder Tieren vorhanden, so hat der Führer unverzüglich die Motoren auszuschalten, die mechanische und elektrische bezw. elektromagnetische Bremse zu betätigen. Von dem Mittel des Stromumkehrens darf nur im äussersten Notfalle Gebrauch gemacht werden. Ehe sich dann der Wagen nicht nach rückwärts in Bewegung setzt, darf der Strom nicht ausgeschaltet, d. h. die Kurbel in die Haltstellung gebracht werden.

Der Führer, welcher beim regelmässigen Betriebe Gegenstrom anwendet, statt sich der Bremse zu bedienen, wird bestraft, im Wiederholungsfalle entlassen.

Entgleist der Wagen, so soll der Führer nicht eher versuchen, ihn unter Anwendung des elektrischen Stromes auf das Gleis zurückzubewegen, als bis er sich genau davon überzeugt hat, dass der Wagen frei laufen kann. Würde der Führer einen Motor einschalten, ohne dass die Räder sich frei bewegen können, so könnte dieses leicht zu einer Zerstörung der elektrischen Teile führen.

Bei Gewitter sind stets die Glühlampen einzuschalten, damit der Blitz einen induktionsfreien Ableiter zur Erde findet.

Bleibt der Wagen plötzlich stehen, so ist es wahrscheinlich, dass der Stromkreis Erdschluss erhalten hat. Es ist dann der Wagenkontakt abzuziehen oder der Hauptausschalter bezw. der Starkstromautomat zu öffnen und hat der Führer hierauf die im Wagen befindlichen, nach den Motoren führenden Kabel zu untersuchen, desgleichen auch die Bürstenhalter und Umschalter.

Ist Kurzschluss im Anker vorhanden, so dreht sich dieser beschädigte Anker (falls eingeschaltet) ein wenig, um dann plötzlich stehen zu bleiben. Sind beide Motoren eingeschaltet, so dreht sich der beschädigte Anker stossweise. Es ist dann der schadhafte Motor auszuschalten und nur der andere Motor im Betrieb zu halten.

Fährt ein Wagen nicht an, so kann die Störung an einem mangelhaften Kontakt des Umschalters liegen. Gewöhnlich findet sich der Fehler an einer der Kontaktfedern. Es sind stets beide Umschalter nach Zurückdrehung der Kurbel auf »Halt« zu untersuchen.

Lässt sich der Wagen von keinem der beiden Umschalter aus in Bewegung setzen, so sind die Glühlampen einzuschalten. Brennen die letzteren nicht, so ist nachzusehen, ob alle Lampen heil sind. Brennen, nachdem ev. neue Lampen eingeschaltet sind, auch diese nicht, so erübrigt nur, dass der Führer die anderen Wagen beobachtet. Verkehren diese, so liegt der Fehler unbedingt am eigenen Wagen. Erweisen sich alle Bemühungen, den Wagen diensttauglich zu machen, als fruchtlos, so ist derselbe leer an einen anderen Motorwagen, der in der Richtung nach dem Depôt verkehrt, behufs Aussetzens daselbst anzuhängen, nachdem — falls irgend möglich — an die Werkstatt Fernsprechmeldung gegeben ist. Stehen aber auch die anderen Wagen, so ist die Störung unverzüglich durch den nächstgelegenen, zur Verfügung stehenden Fernsprecher an die Kraftstation zu depeschieren oder ein Eilbote mit der schriftlichen Meldung an die Station abzuschicken. Inzwischen darf der Führer seine Bemühungen, den Wagen in Betrieb zu bringen, nicht fortsetzen, sondern er hat nur die Glühlampen einzuschalten und zu warten, bis diese wieder eine Minute lang ruhig brennen. Alsdann darf er annehmen, dass der störende Kurzschluss wieder beseitigt ist, so dass er vorsichtig weiterfahren darf.

Springt der Automat am Wagen aus, so hat der Führer denselben wieder einzulegen. Bei wiederholtem Ausspringen darf derselbe jedoch nicht wieder eingelegt und noch viel weniger darf derselbe etwa festgehalten werden. Hat eine Fahrstreckenleitung Kurzschluss gehabt, so darf der Streckenisolator nur mit ausge-

schalteten Motoren überfahren werden, bis der Führer sicher ist, dass die Strecke wieder in Ordnung ist.

Bei Untersuchung der Motoren ist die grösste Vorsicht geboten. Bei nassem Wetter muss der Führer darauf achten, dass kein Wassertropfen von seiner Kleidung auf den Motor fallen kann, im übrigen auch, dass sonstige Gegenstände nicht aus seinen Kleidertaschen in den Motor fallen, auch dass keine Werkzeuge im Motor liegen bleiben.

Bei jeder Untersuchung während der Fahrt, wie solche bei Probefahrten vorkommen können, muss man sich so stellen bezw. halten, dass man nach rückwärts sieht, damit man nicht bei einem plötzlichen Stoss in den Raum der Motoren fallen kann.

i) Ende des Dienstes.

Hat der Führer bei Beendigung des Dienstes seinen Wagen in den Schuppen gebracht, so hat er alle Teile der Motoren, insbesondere die Spulen, Anker und Kommutatoren auf Erwärmung zu untersuchen. Findet er einen Teil stärker erhitzt, als dieses beim normalen Betriebe erfahrungsmässig vorkommt, so hat er sofort Meldung zu erstatten. Kein Führer darf die Station früher verlassen, als bis er seitens seines Vorgesetzten von weiteren Dienstleistungen entbunden ist und sich Kenntnis von seinem nächsten Dienst verschafft hat.

31. Wagenführer.

Die Ansichten über die Vorbildung der Wagenführer sind sehr geteilt. Einerseits wird behauptet, dass gelernte Schlosser bezw. Handwerker im allgemeinen sich gut hierzu eignen, weil dieselben sich schneller mit dem Mechanismus vertraut zu machen imstande sind, als gewöhnliche Arbeiter.

Andererseits werden wieder solche Leute bevorzugt, welche bisher als Pferdebahnkutscher bedienstet waren. Diesen sagt man erstens ein grösseres Phlegma nach und zweitens preist man an ihnen als löbliche Eigenschaft, dass sie sich bei Defekten des Mechanismus nicht um die Ursache zu bekümmern verstehen, weil ihnen die technische Vorbildung fehlt. Das Gute liegt hierbei thatsächlich darin, dass diese Leute bei der immerhin sehr beschränkten Reparaturzeit auf der Strecke sich nicht damit abgeben, die Störung von Grund auf zu beseitigen. Der Handwerker wird stets den Trieb haben, zu bessern und zu helfen, und kann bei der flüchtigen Besichtigung und Beseitigung nur sogenannte Murkserei fertig bringen. Unter diesen Umständen scheint es wirklich ratsamer, dem Unwissenden die Führung und Wartung des Wagens während der Fahrt anzuvertrauen. Zum mindesten kann dann an dem inneren Mechanismus der Schaden nicht grösser gemacht werden.

Bei Prüfung der Wagenführer für elektrische Bahnen ist ein besonderes Augenmerk darauf zu richten, dass die Führer genügende Sicherheit im Abschätzen der Entfernungen besitzen. Es hat sich nämlich herausgestellt, dass manche solche Führer unfähig sind, die Weite, welche für das Anhalten und Verlangsamen der Fahrt in Frage kommt, richtig abzuschätzen und dadurch sehr viel Zusammenstösse und öfteres Auffahren auf entgegenkommende und in gleicher Fahrrichtung vorfahrende Gefährte u. s. w. zu verzeichnen haben.

Zweifellos ist die Sicherheit im Distanzschätzen dem Führer eines Wagens, der sich z. B. auf einer belebten Strasse bewegen muss, ebenso notwendig, wie dem Lokomotivführer die Sicherheit in der Erkennung der Farben der Signale; nur hat man zu berücksichtigen, dass Distanzschätzen gelernt werden muss und kann, und dass darum der Prüfung erst eine Übung vorausgehen muss.

Neben dieser Eigenschaft ist dem Führer bei den Prüfungen die nötige Geistesgegenwart beizubringen, indem der Prüfende sich plötzlich vor den Wagen stellt und natürlich gewandt genug ist, um sich vor Überfahrenwerden zu schützen.

Bewährt sich der Führer bei der Probe nicht genügend, so ist es ratsamer, ihn noch weiteren Übungen zu überlassen, denn es ist eine alte Thatsache, dass diejenigen, welche am längsten lernen müssen, später die zuverlässigsten Führer werden. Man darf es nicht scheuen, für die doppelte Lernzeit entsprechenden Lohn zu zahlen, denn diese Mehrausgabe macht sich doppelt und mehrfach bezahlt, indem gute ausgebildete Führer wenig Wagenreparaturkosten verursachen.

Es ist ungemein wichtig, dass der Führer lernt, Strom zu sparen, so dass er beim Thalfahren und Anhalten nicht unnötig Arbeit totbremst. Er kann es ferner kurz vor dem Anhalten vermeiden, Strom in den Wagen zu senden, um denselben bald darauf wieder auszuschalten. Genauere Untersuchungen haben erwiesen, dass ein geschickter Führer 10—20 % an Strom sparen kann.

32. Wagenhalle, Werkstatt, Werkstatteinrichtung und Werkzeuge.

Die Wagenhallen, welche zur Aufnahme des rollenden Materials dienen, sind besonders charakterisiert durch die für den elektrischen Betrieb nötigen Revisions- und Arbeitsgruben, mit denen ein Teil der Gleise ausgerüstet ist. Dieselben sind gewöhnlich 1 bis 1,2 *m* tief und mit Entwässerung versehen. Häufig legt man auch die sämtlichen Gleise auf eiserne oder hölzerne Säulengerüste, sodass

man bequem unter den Gleisen fortgehen kann, ohne erst über das Gleisniveau zu müssen. Ein Teil der Wagenhalle wird zweckmässig für Lackierraum, Stellmacherei, Werkstatt, Schmiede, Lager und Mannschaftsräume mitbenutzt und durch Fachwerkswände oder leichte andere Wände in der Haupthalle abgeschlagen. Die Anhängewagen, welche nur geringer Bedienung und Reparatur bedürfen, werden zweckmässig in besonderen leichten Hallen untergebracht. Die Revisionsgruben sollen eine leichte Zugänglichkeit zu der unter den Wagen befindlichen motorischen Einrichtung ermöglichen. Wenn

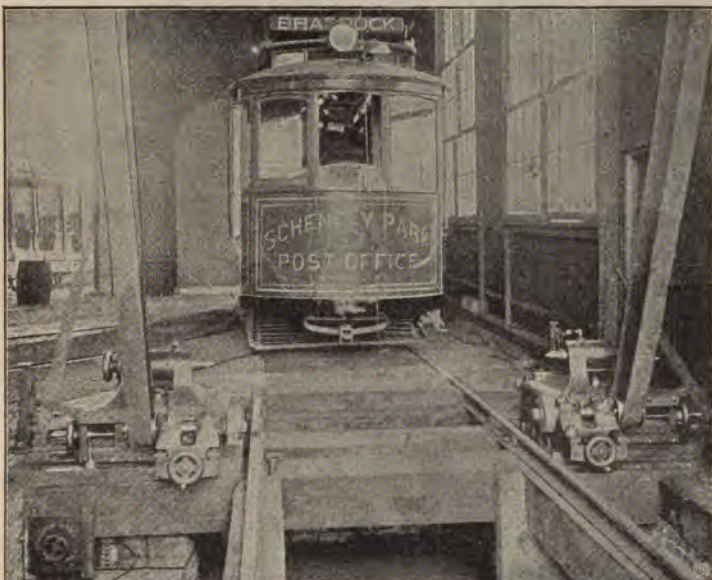


Fig. 356.

irgend angängig, versieht man die Wagenhallen mit Oberlicht, sodass überall genügend Helligkeit ist. Die Werkstatt muss mit einer Montagegrube versehen sein, um auch hier leicht Reparaturen und Neueinbauten an den Wagen bewerkstelligen zu können.

Die Werkstatt muss für den Bahnbetrieb mit besonderen Werkzeugmaschinen ausgerüstet werden, welche in anderen Werkstätten nicht vorzufinden sind. Hierzu gehören vornehmlich Räderdrehbank und hydraulische Radpresse, Wagenwinden, Schellackbad. Eine Räderdrehbank unterscheidet sich von den grossen Drehbänken der Maschinenbauwerkstätten dadurch, dass dieselbe so niedrig ist, um die abzudrehenden Radsätze direkt auf die Drehbankspitzen auflaufen zu lassen, ohne einen besonderen Krahn nötig zu haben.

Ferner besitzt die Räderdrehbank zweckmässig zwei Planscheiben und mindestens zwei Supporte.



Fig. 357.

Eine nach anderen Prinzipien gebaute Räderdrehbank ist in neuerer Zeit in Amerika im Gebrauch. Bei derselben sind zwei Neuerungen zu verzeichnen, nämlich die Aufbringung der Achse auf die Werkbank und das Bearbeiten der Laufflächen.

Wie die vorstehenden Abbildungen (Fig. 356 und 357) veranschaulichen, ist bei der amerikanischen Räderdrehbank das Ausbauen der Radsätze aus dem Wagen und das Abnehmen der Motoren und Achsenzahnräder von den Achsen nicht mehr erforderlich. Support und Reitstock bilden hier zwei gleichartige, horizontal gegeneinander bewegliche Werkstücke, welche zu beiden Seiten des Wagenhallengleises aufgestellt werden. (Fig. 356.) Durch einen gewöhnlichen kleinen Windebock wird der Wagen an dem Ende angehoben, an welchem die abzudrehenden Räder sitzen, bis der Kern der Achse mit der Reitstockspitze in gleicher Höhe ist. Alsdann werden die Supporte mittels Hebel an beiden Seiten angeschoben, festgestellt, und die Achse in den Spitzen geklemmt. (Fig. 357.) Der Antrieb der Achse erfolgt nun durch den Wagenmotor selbst, indem mittels des Wagenschalters in üblicher Weise Strom in denselben eingeführt wird. An Stelle der Drehstähle befinden sich hier je zwei Schmirgel-

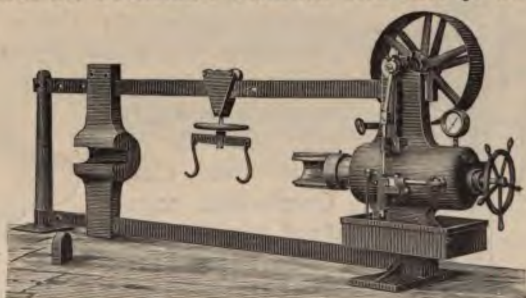


Fig. 358.

scheiben mit Riemenantrieb, welche sich in entgegengesetzter Richtung des Rades drehen. Die Bandage wird somit nicht abgedreht, sondern abgeschliffen, und entspricht diese Behandlungsweise einer viel natürlicheren, als dem Abdrehen auf unseren Räderdrehbänken. Durch das Schmirgeln wird die hohe Umdrehungszahl der Achse bei der Bearbeitung zulässig; beim Abdrehen mittels Stahles ist dies natürlich unthunlich. Für das Abschmirgeln der Flanschen werden event. noch entsprechend anders profilierte Schmirgelscheiben aufgesetzt. Die Räder sollen nach dieser Behandlungsweise ein ganz vorzügliches Äussere besitzen, vollständig glatt und ohne Drehrillen sein. Das Wichtigste bei der Behandlungsweise ist die Ermöglichung eines äusserst billigen Abdrehens unter Wegfall des teuren Ausbauens von Achse und Motor. Die Einfachheit des Verfahrens legt es dem Betriebsleiter nahe, seine Bandage oft abzudrehen, wodurch Räder geschont werden und Kraftersparnisse im Betriebe dadurch eintreten, dass die Räder niemals unrund und nie verschieden im Durchmesser sind.

Die hydraulische Radpresse dient zum Aufpressen der Radsterne auf die Achsen. In der Fig. 358 ist eine solche Presse dargestellt, deren Pumpe von einem Transmissionsriemen angetrieben wird. Der sichtbare Doppelhaken in der Mitte dient zum Aufhängen des Radsatzes, so lange er noch nicht von der Presse gefasst wird.

Die Wagenwinden, wie eine solche einfachster Form in Fig. 359 dargestellt ist, müssen zum Anheben eines Wagens zu je zweien durch einen, den Wagen von unten fassenden Querträger verbunden werden. Um den ganzen Wagen anheben zu können, müssen demnach vier solcher Windeböcke und zwei Querträger vorhanden sein. Wenn die Wagenmotoren in die Gruben hinabgelassen werden können, so benutzt man diese Wagenwinden zugleich als Krahne, indem der Querbalken durch die geöffneten Wagenfenster geführt und ein Flaschenzug innerhalb des Wagens und oberhalb des Motors an diesen Querbalken angehängt wird.

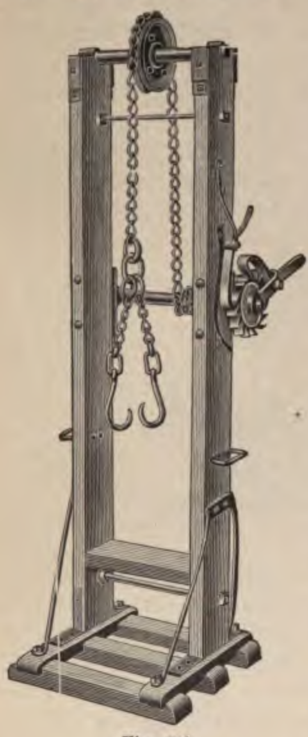


Fig. 359.



Fig. 360.

Die besonderen Werkzeuge für den Streckenbau bestehen in Montagewerkzeugen für die Oberleitung. Zum Fassen des zu spannenden Drahtes bedient man sich der Froschklemme, wie dieselbe in Fig. 360 dargestellt ist. Gewöhnlich ist diese Klemme mit einem Flaschenzug vereinigt. Das Verlegen und Spannen des Fahrdrahtes erfolgt entweder durch Menschenhand mittels Flaschenzuges oder durch Pferde. Um zwei gerissene Enden des Fahrdrahtes zu verbinden, bedient man sich zweckmässig einer Drahtspannvorrichtung, wie dieselbe in Fig. 361 dargestellt ist. Es ist dadurch ermöglicht, den Draht unter Spannung zu erhalten, während die Verbindung hergestellt wird. Um den Fahrdraht zerschneiden zu können, hat man Beisszangen mit auswechselbaren und schleifbaren Schneidebacken konstruiert, wie Fig. 362 darstellt. Die Hebelverhältnisse sind so gewählt, dass man beim Zerschneiden des 8 *mm* Kupferdrahtes diese Zange mit den Händen noch bethätigen kann. Schnittflächenebene und Be-

wegungsebene der Zange müssen der bequemen Handhabung wegen zusammenfallen.

In den Fig. 363 und 364 ist eine praktische Schienenbohrmaschine dargestellt, welche dazu dient, in bereits verlegtem Gleise



Fig. 361.

Steglöcher zum Einschlagen der Schienenverbinder zu bohren. Das langwierige Bohren der Löcher mittels der Bohrknarre wird hier-



Fig. 362.

durch gänzlich vermieden. Ein ganz besonderer Vorteil dieser schnellarbeitenden Bohrmaschine wird sich dann erreichen lassen,



Fig. 363.



Fig. 364.

wenn eine bereits im Betrieb befindliche Bahn, also z. B. eine Pferdebahn, während des Betriebes in elektrischen Betrieb umgewandelt wird. Während bei dem heute üblichen Bohrverfahren mittels der Knarre der Arbeiter seine Thätigkeit bei jedem heran-

nahenden Wagen unterbrechen muss, weil die Zeit des Bohrens gewöhnlich länger dauert, als die Betriebsintervalle beträgt, kann er hier in der kürzesten Zeit das Loch zwischen den beiden aufeinander folgenden Wagen fertig bohren; es bedarf zum Einstellen des Bohrers nur des Umklappens des Gestelles. Die Bohrmaschine wird zunächst eingestellt und festgelegt, wie dies Fig. 363 zeigt, und sobald ein Wagen die zu bohrende Stelle verlassen hat, so aufgestellt, wie in Fig. 364 dargestellt ist. Es bedarf dabei keiner Verschraubung, auch kann, falls das Bohren des Loches länger dauern sollte, als es der Verkehrsintervalle entspricht, ebenso wie bei der Bohrknarre die Arbeit unterbrochen werden, ohne dass der Bohrer herausgezogen zu werden braucht.

V.

Verschiedenes.

---

33. Baukosten - Aufstellung.

Bei Aufstellung der Baukosten ist die Art des Projektes für die Anordnung der einzelnen Positionen massgebend. Dem projektierenden Ingenieur wird es erwünscht sein, einen allgemeinen Anhaltspunkt bei der Hand zu haben, damit die volle Aufmerksamkeit dem betreffenden Projekte zugewandt bleibt und nicht durch Zusammenstellung der Einzelheiten abgelenkt wird. Das Normalbuchungsformular der Eisenbahnen Deutschlands eignet sich auch hierfür nicht gut, daher sei ein einfaches

Schema zur Aufstellung der Anlagekosten einer elektrisch betriebenen Strassenbahn mit einigen Einheitspreisen beigefügt.

I. Grunderwerb.

a) Flächenraum . . *qm*; 1 *qm* *M* . . .
b) Kaufgebühren
c) Strassenbau - Anteil
d) Umbau und Versetzen vorhandener Baulichkeiten.

II. Grundstück.

a) Einzäunung
b) Planierung
c) Kanalisierung
d) Gas- und Wasserleitungen nebst Anschluss.

III. Gebäude und sonstige Maurerarbeiten.

a) Verwaltungsgebäude . . . . . *qm*
b) Kesselhaus . . . . . *qm* (50 — 60 *M*/*qm*)
c) Maschinenhaus . . . . . *qm* (60 — 70 *M*/*qm*)
d) Pumpenhaus . . . . . *qm*
e) Wagenhalle . . . . . *qm* (25—30 *M*/*qm* Fachwerk mit Holzdach)
f) Arbeitsgruben . . . . . *m*
g) Werkstatts - Gebäude . . . . . *qm* (40 — 50 *M*/*qm* Fachwerk mit Holzdach)
h) Kohlenschuppen . . . . . *qm* (15 — 20 *M*/*qm*)
i) Magazin . . . . . *qm*

k) Aborte
l) Nebengebäude . . . . . *qm*
m) Schornstein 45 *m* hoch mit Blitzableiter 1200—1400 *M*
n) Kessel-, Maschinen- u. s. w. Fundamente (20—25 *M/cbm*)
o) Kessel-Einmauerungen 700—1000 *M*
p) Fuchsanlagen 300—600 *M*/Kessel
q) Heizvorrichtungen
r) Transformatorenhäuschen
s) Wartehallen
t) Rohrkanäle und Einsteigschächte mit Abdeckplatten
u) Kabelkanäle im Maschinenhause
v) Fliesenbelag.

IV. Maschinelle und elektrische Einrichtung der Kraftstation.

A. Kesselhaus und Pumpenhaus

a) Kohlenbanse
b) Kohlenkippwagen 100 *M*/Stck.
c) Kohlenschaufeln und Schürgeräte
d) Kessel 200 *qm* Heizfläche, 8 Atmosph., 3000 *kg* Dampfproduktion 12000 *M*
e) Armatur, Garnitur Reinigungswerkzeuge
f) Mechanische Feuerung 500 *M*
g) Wasserleitungen bis zum Kessel (Sauge- und Druckleitungen)
h) Dampfleitungen bis zur Maschine
i) Pumpe 5000 Stundenliter 500—600 *M*
k) Injektoren 5000 Stundenliter 300 *M*
l) Vorwärmer und Wasserreiniger
m) Wasser-Reservoir (25 *cbm* 3000 *M*)
n) Filter
o) Registrierendes Kontroll-Manometer
p) Reserveteile
q) Inventar und Mobiliar (Tafel, Schränke, Tisch, Bank, Waschgefäss, Kaffeekocher, Schläuche)
r) Beleuchtungskörper und Zubehör
s) Kesselisolationsmaterial (Wärmeschutzmasse)
t) Werkzeug
u) Flurplatten
v) Dezimalwage.

B. Maschinenhaus und Nebengebäude

a) Dampfmaschine { 400 PS 100 Umdrehungen 40000 *M*
200 PS 150 Umdrehungen 20—25000 *M*
b) Stromerzeuger . . . . . *kw* . . . . . Volt
c) Transmission und Spannvorrichtungen
d) Kondensationsleitung, Entwässerungsleitungen, Kondenstöpfe
e) Kondensator (für 13000 *kg* Dampf 30000 *M*)
f) Kühl-Apparate
g) Schaltbrett
h) Mess-, Kontroll-, Schalt-, Regulier-, Sicherheits-Apparate, Starkstrom-Automaten (Wattstundenzähler 500 Volt, 800 Amp. = 800 *M*), Blitzableiter
i) Stromleitungen
k) Deckenlaufkrahn für 5000 *kg* bei 15 *m* Spannweite 3000 *M*
l) Laufbahn für den Krahn
m) Hauptmanometer 100 *M*
n) Tachometer 25 *M*

o) Vakuummeter
p) Indikatoren, je 300 ℳ
q) Ölreiniger (für 100 *kg* Öl täglich = 700 ℳ)
r) Schutzgeländer
s) Reserveteile
t) Inventar und Mobiliar (Schränke für Kleider, Betriebsmaterialien, Öltisch [mit Zinkeinsatz 300 ℳ], Tisch, Bänke, Schlüsselbretter, Ölkannen u. s. w.)
u) Beleuchtungskörper und Zubehör (1 Bogenlampe mit Zubehör 180—200 ℳ, 1 Glühlampe mit Zubehör 20 ℳ)
v) Akkumulatoren zur Nachtbeleuchtung
w) Werkzeug
x) Ventilatoren zur Lüftung.

C. Wagenhalle

a) elektrische Beleuchtung { α) feste Lampen; β) bewegliche Lampen }
b) Fahrdraht-Einrichtung
c) Wagenwinden.

D. Werkstatt und Lackiererei

a) Elektromotor
b) Räderdrehbank 3000—5000 ℳ
c) Ankerdrehbank 2000 ℳ
d) Holz- und Kleineisen-Drehbank 1000 ℳ
e) Hobel-Fraisbank 2000 ℳ
f) Universal-Bohrmaschine 2000 ℳ
g) Schleifstein 60 ℳ
h) Trockenofen 2000 ℳ
i) Schellackbad 50 ℳ
k) Schmiedefeuer 150 ℳ
l) Amboss
m) Ventilator
n) Werkbänke mit Schraubstöcken
o) Transmission
p) Kleinwerkzeug
q) Galvanoskop und Wheatstone'sche Brücke
r) Winden, Windböcke
s) Inventar und Mobiliar
t) Beleuchtungskörper und Zubehör
u) Dampfheizung.

E. Hof

a) Stromzuführungs-Anlage
b) Gradierwerk
c) Schiebebühnen und Drehscheiben mit Antrieb
d) Beleuchtungskörper und Zubehör
e) Beleuchtungsmasten und Leitungen
f) Kohlenbanse
g) Waggonwage (für 20 *t* 2000—2500 ℳ).

F. Verwaltungsgebäude

a) Fernsprech-Einrichtungen { Porzellanisolatoren; Klappenschränke; Fernsprech-Apparate; Batterien; Hausleitungen }
b) Hausklingel-Anlagen
c) Beleuchtungs-Anlagen { Beleuchtungskörper und Zubehör; Stromleitungen }
d) Dampfheizungsanlagen.

V. Betriebsmittel.

a) Motorwagen je PS Leistung für . . . . . Sitz- . . . . . Steh-plätze { mit einem Motor 10—12000 ℳ / » zwei » 15—16000 ℳ }
b) Anhängewagen { geschlossen / offen } desgl. . . . . { 3000—3500 ℳ / 2000—2400 ℳ }
c) Montage- und Revisionswagen 1000 ℳ
d) Arbeitswagen
e) Salzwagen
f) Mess-, Prüfungs- und Kontroll-Wagen
g) Revisions-Fahrrad für Betriebsführer 300—400 ℳ
h) Reserveteile, wie Motoren, Anker, Magnetschenkel, Zahnräder, Federn, Lager, Radsätze, Bandagen
i) Registrierendes Zugdynamometer (250 ℳ), Wagenampèremeter.

VI. Oberbau.

A. Gleismaterial (System . . .) 50 *kg/qmm* absolute Festigkeit

a) Hauptgleise . . . . . *m* . . . . spurig (100 *kg/m*, Gleis 13—16 ℳ)
b) Nebengleise . . . . . *m*
c) Wagenhalle und Depôtgleise
d) Schiebebühnen-, Drehscheiben- und Waagen-Gleise
e) Kurvengleis 14—17 ℳ/*m*
f) Weichen (für Phönixschienen mit 2 Zungen und Gewichts-Stell-Vorrichtung 600 ℳ)
g) Kreuzungen
h) Kleineisenzeug
i) Schienenverbinder (in Eisen 0,5 ℳ, in Kupfer 1,0 ℳ/Stck.)
k) Fracht und Transport des Oberbaues.

B. Verlegungs-Material

a) Pflastersteine, Cement, Asphalt, Holzpflaster
b) Kies
c) Schotter, Kleinschlag, Packlage
d) Sand.

C. Verlegungsarbeiten und Erdarbeiten

a) Bettungsgräben herstellen
b) Packlage, Kleinschlag einbringen
c) Gleislegen und ausrichten
d) Stopfen
e) Pflastern
f) Kanal-Verlegungen
g) Hauptbahnkreuzungen
h) Schienenverbinder einschlagen
i) Verlegung von Gas- und Wasserröhren
k) Verlegung von Telephongabeln
l) Entwässerungen von Weichenkästen und Gleissenkungen
m) Herstellung von Dämmen, Einschnitten, Anschüttungen.

D. Werkzeuge

a) Gleisklammern
b) Stopfhacken
c) Brecheisen
d) Spaten und Schaufeln
e) Schraubenschlüssel
f) Richtkreuze
g) Spurmass
h) Lotwage.

E. Brücken und Durchlässe

(VI A + B + C + D eingleisig mit Ausweichen 45000 — 50000 ℳ/*km*)
(VI A + B b c d + C a b c d h + D eingleisig mit Ausweichen 20000—25000 ℳ)

VII. Stromzuführungs-Anlagen (Oberleitung.)

A. Masten, Rosetten

- a) Masten
  - Rohrmaste mit Kopf, Sockel und Ringen 150—300 ℳ
  - Gittermaste 18—25 ₰/*kg*
  - Holzmaste 10—20 ℳ/Stck.
- b) Ausleger 25—50 ℳ
- c) Hausrosetten 15—25 ℳ
- d) Schalldämpfer.

B. Spannwerk und Fahrleitung

- a) Isolatoren
- b) Querdrähte (100 *kg* 25—30 ℳ)
- c) Fahrdraht 50 *qmm* Querschnitt 60—80 ₰/*m*
- d) Unterbrecher mit Ausschalter
- e) Weichen
- f) Verbinder
- g) Verankerung
- h) Kreuzungen
- i) Blitzableiter.

C. Speiseleitungen

- a) oberirdisch blank
- b) oberirdisch isoliert (100 *qmm* 4 ℳ/*m*)
- c) unterirdisch isoliert (Kabel)
- d) Porzellan-Isolatoren
- e) Anschlussmuffen.

D. Transformatoren.

E. Montage

- a) Setzen der Maste
- b) Anbringen der Rosetten
- c) Aufbringen des Tragwerkes und des Fahrdrahtes
- d) Eingraben von Blitzableiter-Erdplatten
- e) Aufbringen der oberirdischen Speiseleitungen
- f) Verlegen der Kabel einschl. Kabelgräben herstellen und zuschütten.

F. Schutzvorrichtungen

- a) Postschutzvorrichtungen
- b) Selbstausschalter
- c) Bleisicherungen
- d) Ausschalter
- e) sonstige behördliche Forderungen.

G. Fernsprech-Einrichtungen

- a) Isolatoren
- b) Drähte
- c) Stützen
- d) Unterstations-Apparate und Klappenschrank
- e) Erdplatten.

H. Insgemein

- a) Haltetafeln
- b) Abänderung von Schlagbarrièren, Verstärkung von Strassenbrücken

c) erstmalige Uniformierung des Betriebs-Personals.

(VII B + Ece 3500 *M* eingleisig, 5500 *M* zweigleisig
Zuschlag füreingleisige Kurven 150 *M*, für zweigleisige Kurven 250 *M*.)

Stromzuführungs-Anlage (Unterleitung).

1 *km* Unterleitungskanal mit Fahrleitung eingleisig 50000 *M/km*
1 » » » » zweigleisig 100000 » »
Hierzu Schienen, Pflasterung u. s. w. besonders

VIII. General-Unkosten und Verschiedenes.

a) Projektverfassung
b) Vermessungsarbeiten, Vorarbeiten generelle 90—100 *M/km*, spezielle 250—300 *M/km*
c) Bauleitungs- und Verwaltungskosten während des Baues
d) Baubureaumiete
e) Verpackung, Fracht, Transport bis zur Baustelle
f) Montage, Rüstzeug, Hilfskräfte
g) Feuer- und Unfallversicherungsbeiträge während des Baues
h) Begutachtungen
i) Bauzinsen
k) Unternehmergewinn
l) Eröffnungsfeierlichkeiten
m) Probebetrieb
n) Betriebs-Materialien
o) Betriebs-Reserveteile
p) Instandhaltung der Anlage bis zur Betriebs-Eröffnung.

34. Behördliche Bestimmungen.

Dem deutschen Unternehmer für Bau und Betrieb elektrischer Bahnen steht der § 12 des Gesetzes über das Telegraphenwesen des Deutschen Reiches am meisten hinderlich entgegen, wenn die zu erbauende oder zu betreibende Bahn die öffentlichen Verkehrswege benutzt oder kreuzt.

Dieser § 12 lautet:

»Elektrische Anlagen sind, wenn eine Störung des Betriebes der einen Leitung durch die andere eingetreten oder zu befürchten ist, auf Kosten desjenigen Teiles, welcher durch eine spätere Anlage oder durch eine später eintretende Änderung seiner bestehenden Anlage diese Störung oder die Gefahr derselben veranlasst, nach Möglichkeit so auszuführen, dass sie sich nicht störend beinflussen.«

Zur Auslegung dieses Gesetzes-Paragraphen hat der preussische Minister der öffentlichen Arbeiten am 31. Dezember 1896 im Einvernehmen mit der durch das Gesetz geschützten Postverwaltung folgende allgemeine Vorschriften zum Schutze der Reichstelegraphen- und Fernsprechanlagen herausgegeben, welche beim Bau und Betrieb elektrischer mit Gleichstrom betriebener Kleinbahnen zu beachten sind.

1. Für den Betrieb der Strassenbahn sind nur solche Dynamomaschinen zur Kraftlieferung zu verwenden, deren Strompulsationen sehr geringfügig sind, damit Induktionsgeräusche in den nahe der Bahn verlaufenden oberirdischen Fernsprechleitungen vermieden werden.

2. Falls, wie dies beabsichtigt wird, eine oberirdische blanke Leitung zur Zuführung der Betriebskraft an die Motorwagen benutzt wird, und die Gleisschienen zur Rückleitung der elektrischen Ströme dienen sollen, muss die metallische Rückleitung durch die Schienen eine möglichst vollkommene sein. Ausserdem sollen an denjenigen Stellen, an welchen die vorhandenen Telegraphen- und Fernsprechleitungen die blanke Fahrleitung der Bahn oberirdisch kreuzen, über der letzteren auf Kosten der Verwaltung der elektrischen Strassenbahn stromlose Schutzdrähte, in geeigneten Fällen Drahtnetze gezogen oder sonstige stromfreie Schutzvorrichtungen angebracht werden, durch welche eine Berührung der beiderseitigen stromführenden Drähte vermieden wird. An Stelle der stromfreien Schutzvorrichtungen oder neben denselben kann bezw. muss der Schutz der Telegraphen- oder Fernsprechleitungen auch durch andere Einrichtungen gemäss besonderer, nach Anhörung der Reichs-Telegraphenverwaltung durch die Aufsichtsbehörde zu treffender Anordnung hergestellt werden.

3. An den Kreuzungsstellen muss der Abstand der untersten Telegraphen- oder Fernsprechleitung von den Schutzdrähten und Tragelitzen mindestens 1 *m* betragen. Wo zur Erreichung dieses Abstandes die Telegraphen- und Fernsprechleitungen höher gelegt werden müssen, hat dieses durch die Reichs-Telegraphenverwaltung auf Kosten der Strassenbahnverwaltung zu erfolgen. Ingleichen müssen die in der Nähe von Telegraphen- und Fernsprechleitungen aufzustellenden Pfosten, welche zur Unterstützung der Tragelitzen dienen, mindestens 1,25 *m* von der zunächst befindlichen Telegraphen- oder Fernsprechleitung entfernt bleiben. Sofern trotzdem zu befürchten ist, dass z. B. beim Abtrieb der Leitungen durch Wind oder aus sonstigen Ursachen Berührungen der Telegraphen- oder Fernsprechleitungen mit blanken Teilen der Speiseleitung, der Fahrleitung oder sonstigen stromführenden Teilen der Bahnanlagen an einzelnen Stellen eintreten können, sind auf Antrag der Reichs-Telegraphenverwaltung nach Anordnung der Aufsichtsbehörde geeignete Schutzvorrichtungen anzubringen, die eine Berührung der Schwachstromleitungen mit der Starkstromleitung verhindern.

4. Die Aufsichtsbehörde wird an denjenigen Stellen, wo die elektrische Bahn neben den Schwachstromleitungen verläuft und

der gegenseitige Abstand weniger als 10 *m* beträgt, auf Ersuchen der Reichs-Telegraphenverwaltung besondere Schutzvorrichtungen an den Starkstromleitungen zur Verhinderung der Berührung derselben mit den Schwachstromleitungen anordnen, sofern nicht die örtlichen Verhältnisse eine Berührung der Starkstrom- und Schwachstromleitungen auch beim Umbruch von Stangen oder beim Zerreissen von Drähten ausschliessen.

4 a) Ausserdem sind:

α) Schutzleisten auf der Starkstromleitung und Längsdrähte neben derselben an allen Kreuzungsstellen anzubringen, wo Verlegungen der Telegraphen- und Fernsprechleitungen nicht (?) vorgesehen, oder zwar vorgesehen, aber bis jetzt noch nicht ausgeführt sind;

β) in den wenigen Fällen, wo senkrechte Kreuzungen einzelner Fernsprechdrähte, deren Verlegung in Aussicht genommen, aber noch nicht ausgeführt ist, mit der Starkstromleitung vorkommen, nur Holzschutzleisten anzubringen.

5. Die unterirdischen Zuleitungen von der Kraftstation zu den Gleisen (Speiseleitungskabel) müssen thunlichst entfernt von den Reichs-Telegraphenkabeln, wo es angängig ist, auf der anderen Strassenseite verlegt werden. Kreuzungen der unterirdischen Kabel für Starkströme mit solchen für Schwachströme müssen derartig erfolgen, dass der Abstand der Kabel voneinander mindestens 40 *cm* beträgt. Werden Reichs-Telegraphenkabel von unterirdischen Kabeln für elektrische Starkströme gekreuzt, oder verlaufen die Kabel in einem seitlichen Abstande von weniger als 50 *cm* voneinander, so müssen die Reichs-Telegraphenkabel — sofern diese oder die Starkstromkabel nicht in gemauerten Kanälen liegen — auf Kosten des Unternehmers mit eisernen Röhren, die über die Kreuzungsstelle nach jeder Seite hin etwa 1,50 *m* und über die Endpunkte der Näherungsstrecke 2—3 *m* hinausragen, umgeben und die eisernen Schutzrohre auf der den Starkstromkabeln zugewendeten Seite mit genügend starken Halbmuffen aus Cement oder Beton bedeckt werden. Diese Muffen, deren Bestimmung es ist, flüssiges Metall von den Schutzrohren abzuhalten bezw. zu starke Erwärmung der eingelegten Kabel zu verhüten, müssen 50 *cm* zu beiden Seiten der kreuzenden Starkstromkabel bezw. bei seitlichen Annäherungen ebensoweit über den Anfangs- und Endpunkt der gefährdeten Strecke hinausragen. Wenn die Starkstromkabel in Verteilungskästen eingeführt werden und in einem Abstande von weniger als 50 *cm* von einem Kasten sich Telegraphen- oder Fernsprechkabel befinden, so sind letztere ebenso wie bei einer Näherung der Starkstromkabel zu schützen. Von dieser Massregel kann abgesehen werden, wenn der Verteilungs-

kasten (mit Ausnahme des Deckels) von Mauerwerk oder von einer Cement- oder Betonschicht umgeben ist.

6. Sind infolge des parallelen Verlaufs der beiderseitigen Anlagen oder aus anderen Ursachen Störungen der Telegraphen- oder Fernsprechleitungen zu befürchten, oder treten solche Störungen auf, so hat der Unternehmer geeignete Massnahmen zur Beseitigung der störenden Einflüsse zu treffen.

Sofern sich zur Vermeidung von Störungen des Telegraphen- oder Fernsprechverkehrs eine Verlegung von Telegraphen- oder Fernsprechlinien als zweckmässig erweist, hat der Unternehmer für die rechtlichen und bautechnischen Vorbedingungen der Verlegung zu sorgen und die durch die Verlegung erwachsenden Kosten zu tragen.

7. Die Aufsichtsbehörde wird auf Ersuchen der Oberpostdirektion Bestimmung darüber treffen, ob und wann zum weiteren Schutze der Reichs-Telegraphen- und Fernsprechleitungen, insbesondere zur thunlichsten Verhütung von Brandschäden für den Fall des Übertritts stärkerer Ströme aus den Starkstromleitungen in die Schwachstromleitungen in letztere von der Reichs-Telegraphenverwaltung auf Kosten der Strassenbahnverwaltung Schmelzsicherungen einzuschalten sind.

Diese Anordnung bleibt ausgesetzt, bis sich die Oberpostdirektion schlüssig gemacht hat.

8. Falls die vorgesehenen Schutzmassregeln nicht ausreichen, um Unzuträglichkeiten oder Störungen für den Telegraphen- oder Fernsprechbetrieb fernzuhalten, hat der Unternehmer der Starkstromanlage im Einvernehmen mit der zuständigen Oberpostdirektion ohne Verzug weitere Massnahmen zu treffen, bis die Beseitigung der Unzuträglichkeiten oder der störenden Einflüsse erfolgt ist.

Bei mangelndem Einverständnis zwischen der Reichs-Postbehörde und der Strassenbahnverwaltung bestimmt die Aufsichtsbehörde, ob und in welcher Art weitere Sicherungsmassnahmen seitens des Unternehmers zu treffen sind.

9. Bei den aus Anlass der Umwandlung des Pferdebetriebes in elektrischen Betrieb etwa notwendigen Umlegungen bestehender oder bei der Herstellung neuer Gleise dürfen letztere, ausser bei Kreuzungen, nicht über dem Kabellager der unterirdischen Reichs-Telegraphenlinien hergestellt werden. Lässt sich die Linienführung der Gleise nicht anders anordnen, so ist die unterirdische Telegraphenlinie durch die Reichs-Telegraphenverwaltung auf Kosten der Verwaltung der elektrischen Bahn umzulegen. Die Entscheidung darüber, ob die Gleise verlegt werden können oder nicht, steht der Aufsichtsbehörde zu.

10. Durch die elektrische Bahnanlage darf die Reichs-Telegraphenverwaltung in der Befugnis nicht gehindert werden, mit Ausbesse-

rungen und Verlegungen der vorhandenen unterirdischen Telegraphenanlagen jederzeit vorzugehen, selbst wenn dadurch der Betrieb der elektrischen Bahn längere Zeit gestört werden sollte. Derartige Arbeiten sind jedoch thunlichst zu solchen Zeiten vorzunehmen, in welchen der elektrische Betrieb ruht. Beabsichtigt die Strassenbahnverwaltung Aufgrabungen in Strassen vorzunehmen, welche zur Zeit der Vornahme dieser Arbeiten mit unterirdischen Telegraphen- oder Fernsprechkabeln versehen sind, so ist hiervon der zuständigen Oberpostdirektion oder den zuständigen Telegraphenämtern rechtzeitig vor dem Beginn der Arbeiten schriftlich Nachricht zu geben. Falls durch solche Arbeiten der Telegraphen- oder Fernsprechbetrieb gestört werden sollte, sind die Arbeiten auf Antrag der Telegraphenverwaltung zu einer Zeit auszuführen, in welcher der Telegraphen- oder Fernsprechbetrieb ruht.

11. Falls Fehler in der Starkstromanlage zu Störungen des Telegraphen- oder Fernsprechbetriebes Anlass geben sollten, so muss der elektrische Betrieb der Bahn auf Anzeige des zuständigen Telegraphenamts an die Betriebsverwaltung der Strassenbahn oder auf Verlangen der Oberpostdirektion in solchem Umfange und so lange eingestellt werden, wie dies zur Beseitigung der Fehler erforderlich ist.

Darüber, ob und inwieweit eine Betriebseinstellung erforderlich ist, hat bei etwaigem Mangel des Einverständnisses der Strassenbahnverwaltung mit den vorbezeichneten Behörden der Reichs-Telegraphenverwaltung die eisenbahntechnische Aufsichtsbehörde zu entscheiden.

In diesen Vorschriften, die sich als eine ministerielle Sanktionierung der von der Post seit mehreren Jahren gestellten Bedingungen darstellen, ist leider auf den Erlass des Ministers der öffentlichen Arbeiten vom 4. November 1895 $\frac{\text{III } 18940}{\text{IVa A } 7690}$ nicht zurückgegriffen worden, welcher lautete:

Die Bestimmungen, welche im Interesse der Reichspost- und Telegraphenverwaltung in die Genehmigungsurkunden zum Bau und Betriebe elektrischer Strassenbahnen bisher aufgenommen worden sind, sind beizubehalten, jedoch mit folgendem, seitens genannter Verwaltung nicht beanstandetem Zusatze zu versehen:

»Ob behufs wirksamer Verhütung von Störungen benachbarter Fernsprechleitungen deren Verlegung erforderlich ist, wird während des Baues und der Probefahrten bestimmt. Die desfalls erforderlichen Anordnungen werden auf Antrag der Oberpostdirektion von der Landespolizeibehörde getroffen und auf Kosten des Unternehmers zur Ausführung gebracht.«

Insbesondere bezieht sich dies auf die Bestimmung No. 1, welche mit obiger unter No. 1 angegebenen gleichlautet.

In vielen Fällen beginnt, fährt, kreuzt oder endet eine elektrische Bahn auf bahnfiskalischem Gelände. Um auch hier allgemeine Bestimmungen für die Konzessionierung zur Hand zu haben, sind Vorschriften der preussischen Staatsbahnverwaltung für die Einrichtung elektrischer Starkstromanlagen erschienen, deren Wortlaut hier folgt:

§ 1. Allgemeine Vorschriften über die Anlage der Starkstromleitungen.

1. Die Starkstromleitungen müssen, soweit deren Anlage innerhalb des eisenbahnfiskalischen Geländes zugelassen wird, als unterirdische Kabel hergestellt werden. Nur bei Fahrleitungen elektrischer Bahnen und Wechselstromleitungen, bei letzteren, wenn deren genügende Isolierung bei Verwendung unterirdischer Kabel wegen zu hoher Spannung nicht zu erzielen sein würde, ist oberirdische Leitungsführung gestattet.

2. Die Leitungen müssen in allen Fällen so angelegt werden, dass eine nachweisbar störende induktorische Beeinflussung der Eisenbahnzwecken dienenden Schwachstromleitungen ausgeschlossen ist.

3. Auch muss dafür Sorge getragen werden, dass Beschädigungen von Personen oder von eisenbahnfiskalischem Eigentum infolge elektrolytischer oder sonstiger Wirkungen des elektrischen Stromes nicht eintreten können.

§ 2. Besondere Vorschriften über die Anlage der Starkstromleitungen.

1. Die Verlegung der unterirdischen Starkstromkabel hat, soweit dieselben unter Gleisen liegen, in Röhren aus hartgebranntem Thon oder Cement oder in gemauerten Kanälen zu erfolgen. Bei den oberirdischen Leitungen ist durch möglichst sichere Bauart (kräftige Maste, kurze Spannweiten) Leitungs- und Gestängebrüchen vorzubeugen.

2. Alle Leitungen müssen so angeordnet sein, dass Ausbesserung oder Ersatz derselben ohne Störung des Eisenbahnbetriebes bewirkt werden kann.

3. Um bei den oberirdisch geführten Leitungen zu verhindern, dass infolge eines Drahtbruches oder beim Bruch eines Gestänges Starkstrom auf die Staatsbahnanlagen übergeht, ist Vorsorge zu treffen, dass bei einem derartigen Vorkommnis eine sofortige selbstthätige Unterbrechung des Stromes eintritt; ausserdem sind unter Wechselstromleitungen für Hochspannung Fangnetze oder Schutzbrücken anzuordnen.

4. Die oberirdischen Leitungen der Staatseisenbahnverwaltung hat der Unternehmer der Starkstromanlage an allen denjenigen Stellen auf eisenbahnfiskalischem Gelände, an welchen oberirdische Starkstromleitungen zur Ausführung gelangen, auf seine Kosten soweit als unterirdische Kabel herzustellen, als dies zur Erreichung vollständiger Sicherheit gegen Berührung mit den Starkstromleitungen erforderlich ist.

5. Dasselbe gilt von den oberirdischen Leitungen, die seitens der Staatseisenbahnverwaltung nach Ausführung der Starkstromanlage hergestellt werden.

Von der unterirdischen Führung der Leitungen der Staatseisenbahnverwaltung in dem bezeichneten Umfange kann nur abgesehen werden, wenn nach Lage der örtlichen Verhältnisse eine Berührung der beiderseitigen Leitungen unter allen Umständen ausgeschlossen ist.

§ 3. Bestimmungen über die Bauausführung.

1. Der Unternehmer der Starkstromanlage hat vor der Bauausführung von den auf eisenbahnfiskalischem Gelände geplanten Starkstromleitungen nebst Zubehör genaue Lagepläne der zuständigen königlichen Eisenbahndirektion in zwei Ausfertigungen zur Genehmigung vorzulegen. Eine dieser beiden Ausfertigungen verbleibt im Besitz der königlichen Eisenbahndirektion. Die erforderlichen Grundlagen zur Herstellung der Lagepläne werden dem Unternehmer auf Wunsch seitens der zuständigen königlichen Eisenbahndirektion zugänglich gemacht.

2. Die Ausführung aller auf eisenbahnfiskalischem Gelände infolge der Anlage der Starkstromleitungen erforderlichen Arbeiten geschieht unter Aufsicht der Staatseisenbahnverwaltung. Für sämtliche Einzelheiten der Ausführung ist der Unternehmer allein verantwortlich.

3. Der Starkstromunternehmer haftet für die etwaige Vermehrung der Unterhaltungskosten der eisenbahnfiskalischen Anlagen, welche durch die Einrichtung der Starkstromleitung entsteht.

§ 4. Verbesserung unzulänglicher Einrichtungen.

1. Erweisen sich die bei Ausführung der Starkstromanlage getroffenen Einrichtungen als unzulänglich, um Unzuträglichkeiten von den Eisenbahnanlagen fernzuhalten, so hat der Unternehmer diese Einrichtung auf seine Kosten zu verbessern oder durch andere zweckdienlichere zu ersetzen.

2. Auch ist die Staatseisenbahnverwaltung berechtigt, die erforderlichen Massregeln zur Beseitigung von Unzuträglichkeiten auf Kosten des Unternehmers selbst zu treffen, falls letzterer sich weigert, dieser Verpflichtung nachzukommen.

§ 5. Betriebseinstellung der Starkstromanlage.

Wenn durch die Starkstromanlage Unzuträglichkeiten für die Staatseisenbahnverwaltung sich ergeben, so muss, wenn dies nach Ermessen der letzteren erforderlich erscheint, der Betrieb der Starkstromanlage in entsprechendem Umfange sofort und solange eingestellt werden, bis die Beseitigung der die Unzuträglichkeiten bedingenden Ursachen erfolgt ist.

§ 6. Abänderung der Anlagen der Staatsbahnverwaltung.

1. Etwaige durch Änderungen der Anlagen der Staatseisenbahnverwaltung erforderlich werdende Abänderungen der Starkstromanlage hat der Unternehmer auf Erfordern der zuständigen königlichen Eisenbahndirektion auf seine Kosten zu bewirken.

2. Ebenso hat der Unternehmer der Starkstromanlage diejenigen Kosten zu tragen, welche dadurch entstehen, dass infolge der Herstellung oder des Bestehens der Starkstromleitungen die Staatseisenbahnverwaltung Abänderungen ihrer Einrichtungen für nötig erachten sollte.

§ 7. Abänderung der Starkstromanlage.

Zur Ausführung von Änderungen oder Erweiterungen des auf eisenbahnfiskalischem Gelände liegenden Teiles der Starkstromleitungen nebst Zubehör hat der Unternehmer die Genehmigung der zuständigen königlichen Eisenbahndirektion einzuholen.

§ 8. Haftbarkeit des Unternehmers der Starkstromanlage.

Bezüglich der Haftpflicht für Unfälle und Schäden, welche auf dem Gebiete der Staatseisenbahnverwaltung infolge der daselbst vorhandenen Starkstromleitungen nebst Zubehör eintreten, bewendet es bei den gesetzlichen Bestimmungen mit der Massgabe, dass der Unternehmer für alle in seinem Auftrage thätigen Personen die Haftpflicht übernimmt, soweit nicht die Eisenbahnverwaltung oder deren Organe ein Verschulden trifft.

Die konzessionierenden Behörden verlangen bei Einreichung eines Bahnprojektes die Ausführung der Unterlagen nach einem besonderen Schema. Das königl. sächsische Finanzministerium, als die in Sachsen massgebende Behörde, fordert als Projektunterlagen für elektrische Bahnanlagen folgendes:

1. Übersichtsplan in 1 : 10 000.
2. Grundriss in 1 : 1000 mit Angabe der Stationen in 100 *m* Abstand, der Kurven-Anfangs- und -Endpunkte mit Anschrift der Halbmesser; Bezeichnung der Leitungs- und Spanndrahtlage und ihrer Stützpunkte.

3. **Längenprofil im Massstabe des Grundrisses, die Höhen nach Bedarf um das 10- oder 20fache vergrössert; also 1 : 1000 für die Längen und 1 : 100 oder 1 : 50 für die Höhen.**

4. **Querprofile im Massstabe von 1 : 100 oder 1 : 50, für die einfacheren Strecken in 100 oder 200 *m* Abstand, im übrigen nach Bedarf, wie es der Zweck, die verschiedenen Lagen der Linie kenntlich zu machen, erfordert.**

5. **Genaue Darstellung des Oberbaues (Schienen- und Laschenprofil in 1 : 1, Oberbauprofil und Weichenkonstruktion in 1 : 5), sowie der anzuwendenden Gestänge (event. Leitungskanäle), Spanndrähte und Leitungen mit Massangaben.**

6. **Genaue Darstellung der Betriebsmittel im Massstabe von mindestens 1 : 15 mit Angabe der Gewichte, maximalen Belastungen und der Leistungsfähigkeit der Motoren, Sonderzeichnung der Bremsvorrichtungen. Schematische Zeichnung der Schaltungen.**

7. **Darstellungen der zu errichtenden oder mit zu benutzenden Kunst- und Hochbauten im Massstabe 1 : 100 und der Centralstationseinrichtung.**

8. **Eingehender Erläuterungsbericht mit Angabe der in den verschiedenen Anlageteilen vorkommenden elektrischen Grössen und Festigkeitsverhältnisse.**

9. **Kostenanschlag der Anlage.**

10. **Fahrplanentwurf (graphisch).**

Anmerkung: Die Pläne und Zeichnungen sind im Formate von 20×30 *cm* zusammengelegt, die Schriftstücke in Aktenformat und alle Gegenstände in doppelten Exemplaren vorzulegen.

Die Bestimmungen hierfür in Preussen sind diesen ähnlich.

Über die Benutzung der Staatsstrassen zur Anlage elektrischer Leitungen hat das königl. sächsische Finanzministerium folgendes bestimmt: Zur Anlegung der Leitung bedarf es der Genehmigung des Finanzministeriums, bei Erweiterung bereits bestehender Anlagen ohne Erstreckung auf neue Fluren der Genehmigung der betreffenden Amtshauptmannschaft, welche jedoch zunächst die Strassen- und Wasserbauinspektion hierüber zu hören hat. Aus Anlass der Strassenbenutzung wird Bezeigungsgeld nicht erhoben von elektrischen Leitungen des Reiches oder des sächsischen Staates, sowie von solchen in Gemeindebesitz befindlichen Leitungen, welche nur schwache Ströme erhalten, also insbesondere den Zwecken des Fernschreib- oder Fernsprechbetriebes dienen. Von Starkstromleitungen im Besitz von Gemeinden (insbesondere zur Abgabe von Licht und Kraft) und von elektrischen Leitungen aller Art im Besitze von Privaten wird Bezeigungsgeld nach Massgabe derjenigen Strassen-

länge erhoben, längs deren die Leitungen über oder unter dem Areal der Strasse sich befinden. Das Bezeigungsgeld beträgt jährlich: bei Leitungen im Besitze von Gemeinden für je 100 *m* Länge 50 ₰, bei Leitungen im Besitze von Privaten für je 100 *m* Länge 1 ℳ. Bei der Berechnung des Betrages sind überschiessende Längen von weniger als 50 *m* unberücksichtigt zu lassen, während für solche von 50 *m* und mehr der für 100 *m* geltende Satz anzunehmen ist. Für kürzere Längen als 50 *m* wird ein Bezeigungsgeld überhaupt nicht erhoben; ebenso ist bei Leitungen entlang von Strasseneisenbahnen, welche dem Betriebe der letzteren dienen, von Erhebung eines besonderen Bezeigungsgeldes für die Leitung neben der für die Strassenbahn zu zahlenden Gebühr abzusehen. Der Betrag ist jedesmal nach dem Sachstande am Anfange des ersten Monats nach der Inbetriebsetzung der Leitung und später nach demjenigen zu Anfang jedes neuen Jahres festzustellen. Die Zahlung ist sodann jedesmal binnen einem Monat, von dem betreffenden Zeitpunkt ab gerechnet, zu leisten. Soweit bei bestehenden Leitungen die zu zahlenden Bezeigungsgelder schon geordnet sind oder die Genehmigung ohne Forderung von Bezeigungsgeld erteilt ist, hat es hierbei bis auf weiteres zu bewenden. Sollten jedoch Anträge der Beteiligten auf eine Abänderung eingehen oder bei Veränderung der Leitung eine Neuregelung nötig werden, so sind gegenwärtige Bestimmungen hierfür anzuwenden. Die Strassen- und Wasser-Bauinspektionen und Bauverwaltereien bezw. Forstrentämter haben dafür, dass die Zahlungen gehörig erfolgen, besorgt zu sein.

Namen- und Sachregister.

(Die Zahlen beziehen sich auf die Seiten.)

Druck von Oskar Leiner in Leipzig. 41440

Biscan, Prof. **Wilh. Konstruktionen für den praktischen** Elektrotechniker nach ausgeführten Maschinen, Apparaten, Vorrichtungen etc. Ein Hilfsmittel zum Entwerfen und Konstruieren, sowie für den Unterricht. Hochquart. 1. u. 2. Lfg. Preis jeder einzeln käuflichen Lieferung ℳ 1.50.

I. Lieferung: 6 Tafeln mit erklärendem Text.

Sekt. I. Tafel 1, 2: Dynamomaschine von Kremenezky, Mayer & Co. in Wien.
» II. » 1, 2: Horizontal-Taschen-Galvanometer von Reiniger, Gebbert & Schall in Erlangen.
» III. » 1, 2: Differential-Bogenlampe mit Ringmagnet für Wechselströme von Ganz & Co. in Budapest.

II. Lieferung: 6 Tafeln mit erklärendem Text.

Sekt. II. Tafel 3, 4: Spannungszeiger der Aktiengesellschaft vorm. O. L. Kummer & Co., Dresden
» II. » 5, 6: Ampèremeter von C. & E. Fein in Stuttgart.
» IV. » 1: Glühlampe für 16 Normalkerzen. System Edison.
» XV. » 1: Antriebmaschinen: Mitnehmer-Kupplung. Kraftmaschinen-Kupplung nach Uhlhorn. Kreuzscheiben-Kupplung nach Oldham. Ausrück-Reibungs-Kupplung nach Reuleaux.

Bohnenstengel, C. Die Elektricität auf Dampfschiffen. Ein Leitfaden für Ingenieure und Maschinisten. Zweite Auflage. gr. 8⁰. 76 Seiten. Mit 116 Abbildungen. Geb. ℳ 2.—.

Inhalt: Dampfmaschinen. Dampfdynamos. Elektrische Maschinen. Behandlung der Dynamos. Untersuchungen und Reparaturen. Hilfsapparate im Maschinenraum. Leitungen im Maschinen-, Kessel- und übrigen Schiffsraum. Positionslaternen. Scheinwerfer und Deckbeleuchtung. Deckbeleuchtung zum Löschen und Laden. Elektrische Nachtsignalapparate u. s. w.

Dürre, Prof. Dr. **Ernst Friedrich. Ziele und Grenzen der Elektrometallurgie.** Eine vergleichende Betrachtung der heutigen Hüttenprozesse und der bis jetzt geschehenen und überhaupt möglichen Anwendungen der Elektricität bei der praktischen Metallgewinnung. Für praktische Hüttenleute und Elektrotechniker. 15 Bogen Gross-Octavformat. Mit 44 Textfiguren und 21 farbigen Taf. Brosch. ℳ 20.—, geb. ℳ 22.—.

Inhalt: Elektrolyse. Der elektrische Lichtbogen. Von der Erzeugung der Elektricität, welche in der Metallurgie nutzbar gemacht werden soll. Elektrolytische Gewinnung von Magnesium und Aluminium. Elektrolytische Gewinnung des Antimons. Elektrolytische Gewinnung von Arsen. Elektrolytische Methoden der Bleigewinnung. Anwendung elektrischer Methoden in der Eisenindustrie. Entwickelung der neuen Goldgewinnungsmethoden durch Waschen und andere mechanische Hilfsmittel. Extraktionsprozesse, besonders die Ausführung der Goldgewinnung aus den Amalgamierrückständen und aus anderen goldhaltigen Erzen. Elektrolytische, auf die Goldgewinnung Bezug habende Methoden. Kupferhüttenprozesse auf trockenem Wege. Kupfergewinnung auf nassem Wege. Elektrolytische Kupfergewinnung. Elektrolytische Kobaltgewinnung. Elektrolytische Scheidung und Gewinnung von Nickel. Elektrische Methoden bei der Gewinnung und Verarbeitung der Platinmetalle. Quecksilber. Die Entsilberung von Hüttenprodukten. Entsilberung von Rohmetallen. Die Silberextraktionen. Elektrolytische Gewinnung des Silbers. Wismuth. Die jetzige hüttenmässige Gewinnung des Zinkes. Vorbereitungsarbeiten für Galmey und andere sauerstoffhaltige Erze des Zinkes. Vorbereitungsarbeiten für die Blende und blendereichen Gemische. Die Hauptarbeit bei der jetzigen Zinkdarstellung. Das Produkt und seine weitere Behandlung. Andere Methoden zur Gewinnung und von Zink zinkischen Produkten. Elektrolytische Zinkgewinnung. Zinn.

…nischer Verlag von Oskar [illegible]

…Taschenbuch… [illegible]

[illegible]

LEIPZIG, OSKAR LEINER. 42089

